

Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava

Fakulta bezpečnostního inženýrství

Katedra bezpečnostního managementu

Stanovení dolní meze výbušnosti hybridních směsí

Student: Jiří Michalík

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Jiří Serafín

Studijní obor: 3908R001 Bezpečnost práce a procesů

Datum zadání bakalářské práce: 9.10. 2007

Termín odevzdání bakalářské práce: 30.4. 2008

„Místopřísežně prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci vypracoval samostatně.“

V Ostravě 28.4. 2008

Anotace

Michalík, Jiří. Stanovení dolní meze výbušnosti hybridních směsí.

Bakalářská práce. Ostrava 2008.

Tato bakalářská práce se zabývá stanovením dolní meze výbušnosti hybridních směsí ve výbuchové komoře VK 100. První část práce je ryze teoretická, zaměřená na výbušné vlastnosti hybridních směsí. V druhé části práce jsou zpracované výsledky měření, a to hybridních směsí mouka – metan – vzduch a páry xylenu – textilní vlákna – vzduch. Naměřené výsledky byly vyhodnoceny a zaneseny do grafů, které ukazují, jak je ovlivněna dolní mez výbušnosti hybridních směsí.

Klíčová slova: výbuchová komora, dolní mez výbušnosti, hybridní směs.

Annotation

Michalík, Jiří. The Determination of Lower Explosive Limits of Hybrid Mixtures.

Bachelor thesis. Ostrava 2008.

This bachelor thesis deals with the determination of lower explosion limits of the hybrid mixtures in the explosion chamber VK 100. The first part of the thesis is purely theoretic and focuses on explosive properties of the hybrid mixtures. The measurement results of hybrid mixtures flour – methane – air and xylene vapours – textile fibre – air are processed in the second part. The obtained results were evaluated and put into charts showing, how the lower explosion limit of hybrid mixtures is influenced.

Key words: explosion chamber, lower explosion limit, hybrid mixture

Obsah

1. Úvod	5
2. Základní pojmy (podle [1,2])	6
3. Základní charakteristiky a poznatky o výbuchu	10
3.1 Druhy výbuchu	11
3.2 Charakteristika výbuchu	12
3.3 Co ovlivňuje meze výbušnosti?	14
3.3.1 Velikost iniciační energie E_i	14
3.3.2 Počáteční tlak v okamžiku iniciace $p_{poč}$	15
3.3.3 Počáteční teplota	15
3.3.4 Vlhkost	15
3.3.5 Obsah kyslíku	16
3.3.6 Vytváření hybridní směsi	16
3.4 Ovlivnění průběhu výbuchu	19
3.4.1 Velikost objemu a tvar nádoby [1]	19
3.4.2 Počáteční tlak v okamžiku iniciace [1]	21
3.4.3 Počáteční teplota [1]	21
3.4.4 Iniciační energie [1]	21
3.4.5 Turbulence směsi [1]	21
3.4.6 Velikost částic u prachu [1]	21
3.4.7 Vliv obsahu kyslíku v oxidační atmosféře [1]	22
3.4.8 Hybridní směsi [1]	22
4. Stanovení nebezpečí výbuchu	24
4.1 Možnost výskytu výbušné směsi [1]	24
4.1.1 Hořlavé kapaliny	25
4.1.2 Hořlavé plyny [1,2]	26
4.1.3. Hořlavé prachy [1,2,3]	27
4.1.4 Nebezpečné zóny [3]	30
4.2 Množství a nebezpečí výbušné směsi [1]	31
5. Stanovení dolní meze výbušnosti vlastním měřením	32
5.1 Popis a charakteristika výbuchové komory VK 100	32
5.1.1 Pneumatický obvod	33
5.1.2 Rozvířovací systém	34
5.2 První část měření	34
5.2.1 Postup měření	34
5.2.2 Stanovení dolních mezí výbušnosti použitých látek	37
5.2.3 Stanovení LEL hybridní směsi mouka-metan-vzduch	38
5.2.4 Zhodnocení měření hybridní směsi mouka – metan - vzduch	39
5.3 Druhá část měření	40
5.3.1 Postup měření	41
5.3.2 Měření dolní meze výbušnosti u xylenu	41
5.3.3 Měření dolní meze výbušnosti u floků	42
5.3.4 Měření LEL u hybridní směsi	43
5.3.5 Zhodnocení měření u hybridní směsi floky – xylen – vzduch	45
6. Závěr	46
7. Použitá literatura	47
8. Seznam použitých obrázků	48
9. Seznam použitých zkratk	49

1. Úvod

Výbuchy prachů a hybridních směsí jsou známé už více než 200 let. Jen za tuto dobu však došlo k řadě explozí, které se výrazně podepsaly na životech, zdraví a majetku lidí. K větším či menším explozím docházelo a stále ještě dochází zejména v zemědělství, v dolech nebo třeba při používání nové technologie. Myslím si, že toto je už dobrý důvod, se touto oblastí více zabývat.

Abychom dokázali vytvořit účinnou ochranu před výbuchem a zabránit tak ztrátám na životech či zničení technologických objektů, je nutná znalost technicko – bezpečnostních parametrů. U hořlavých látek se jedná o věc jednodušší, protože potřebné údaje lze najít v bezpečnostních listech nebo jiných zdrojích. Jiná je však situace u prachů a hybridních směsí. Tam jejich nebezpečnost závisí na různých podmínkách a manipulacích s nimi. V tomto případě na jejich zjištění je nejlépe volit experimentální cestu.

K tomu, abychom mohli stanovit prostředí s nebezpečím výbuchu, je nutno znát dolní mez výbušnosti, která patří mezi nejdůležitější technicko – bezpečnostní parametry. Stanovení tohoto parametru bylo provedeno na výbuchové komoře VK 100.

Cílem této práce je prozkoumat možnost stanovení dolní meze výbušnosti vybraných hybridních směsí, seznámit se s výbuchovou komorou VK 100 a vytvořit možný postup stanovení dolní meze výbušnosti. Mimo jiné, se i seznámit s výbušnými vlastnostmi hybridních směsí.

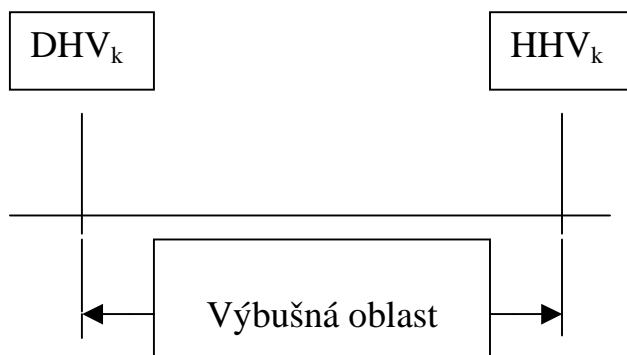
2. Základní pojmy (podle [1,2])

1) *Výbuch* – náhlá oxidace nebo rozkladná reakce vyznačující se vzrůstem teploty, tlaku nebo vzrůstem obou těchto veličin současně.

2) *Prach* – definován jako jemně rozmělněná pevná látka, jejichž délka je menší než 0,5 mm, u vláknin může být délka vlákna větší než 0,5 mm. Existují však materiály, jež mají mnohem větší rozměry, a přitom disponují vlastnostmi prachu, například peří.

3) *Hybridní směs* – směs vzduchu a hořlavých látek rozdílných fyzikálních stavů. (Např. směs metanu, uhelného prachu a vzduchu, nebo směs benzínových par a benzinových kapiček se vzduchem.)

4) *Koncentrační hranice výbušnosti* – ohraničují výbušnou oblast, ve které dochází po iniciaci k hoření nebo k výbuchu. Koncentrační hranice jsou znázorněny na obrázku 2.1.



Obr. 2.1 Rozsah výbušnosti

Dolní koncentrační hranice výbušnosti ($DHSV_k$, LEL) – je nejnižší koncentrace hořlaviny, která umožňuje ve směsi s kyslíkem, vzduchem nebo jiným oxidačním prostředkem šířit plamen za určité iniciační energie.

Horní koncentrační hranice výbušnosti (HHV_k , UEL) – je naopak nejvyšší koncentrace hořlaviny ve směsi s oxidačním prostředkem, která je ještě výbušná.

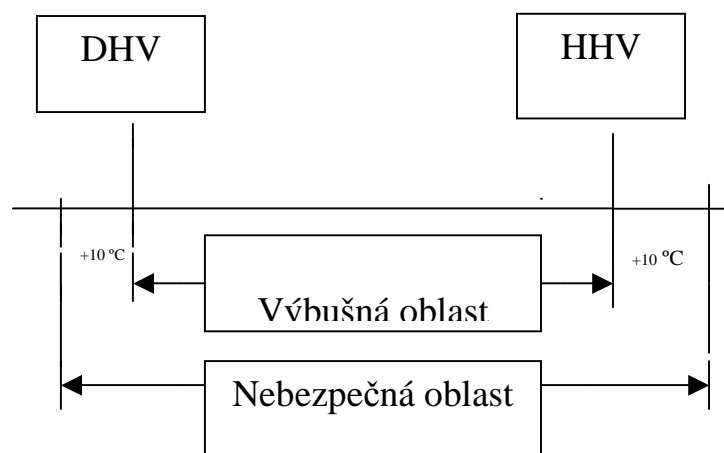
Jelikož v různých literaturách jsou uváděny různé hodnoty koncentračních mezí výbušnosti, je v zájmu zajištění bezpečnosti, vždy používat nejnižší hodnoty. V lepším případě je ovšem experimentální stanovení koncentračních mezí nejlepší, protože jejich hodnoty jsou závislé na mnoha faktorech, mimo jiné i na způsobu stanovení. Dolní hranice výbušnosti je přesněji stanovitelná, poněvadž je méně závislá na fyzikálních a jiných podmínkách (teplota, tlak, způsob iniciace). Zvýšením teploty i tlaku se výbušná oblast rozšiřuje tzv. dolní hranice klesá, horní hranice naopak stoupá. Už z této závislosti můžeme odvodit, že koncentrační hranice výbušnosti jsou závislé na teplotě i tlaku. Údaje LEL pro normální tlak lze používat i pro zvýšené tlaky, to platí i pro údaje LEL stanovené při normální teplotě, lze je aplikovat i pro vyšší teploty. Toto nelze použít pro UEL, neboť je na teplotě a tlaku velmi závislá.

Hoření při dolní hranici výbušnosti probíhá za přítomnosti přebytku kyslíku, kdežto při horní hranici je hoření i výbuch doprovázen značným vývinem sazí – probíhají za nedostatku kyslíku.

5) *Teplotní hranice výbušnosti* – jsou obdobně jako u koncentračních dolní a horní. Více znázorňují případné nebezpečí a používají se v oblastech, kde koncentrační hranice jsou nedostačující. Teplotní hranice jsou znázorněny na obrázku 2.2. Rozsah výbušnosti je daný horní a dolní mezí výbušnosti, jež jsou zvětšeny na každou stranu o 10 °C. [5]

Dolní teplotní hranice výbušnosti – je nejnižší teplota, při které se v uzavřeném prostoru zahříváním zkoušené kapaliny, za předepsaným podmínek, vytvoří takové množství par, že se ve směsi se vzduchem po použití iniciačního zdroje (jiskra, plamen) může šířit plamen.

Horní teplotní hranice výbušnosti – je nejvyšší teplota, při které kapalina vytváří v uzavřených prostorech, za předepsaných podmínek, takové množství par, že jejich směs se vzduchem může být ještě iniciována.



Obr. 2.2 Rozsah výbušnosti a rozsah nebezpečnosti teplotních hranic výbušnosti u hořlavých kapalin

6) *Výbušná atmosféra* – směs vzduchu a hořlavých látek ve formě plynů, par, mlh nebo prachů při atmosférických podmínkách, ve které se po vzniku iniciace rozšíří hoření do celé nespálené směsi.

7) *Maximální výbuchové parametry* - maximální výbuchový tlak p_{\max} , maximální rychlost narůstání výbuchového tlaku (dp/dt_{\max} a kubická konstanta K_g resp. K_{st} jsou měřítkem energie resp. výkonu dané výbušné směsí).

8) *Maximální výbuchový tlak p_{\max}* – maximální tlak vznikající v uzavřené nádobě při výbuchu výbušné atmosféry za stanovených podmínek zkoušky (při optimální koncentraci směsi).

9) *Maximální rychlost narůstání výbuchového tlaku dp/dt_{\max}* – maximální hodnota nárůstu tlaku za jednotku času při výbuchu všech výbušných atmosfér v rozsahu výbušnosti hořlavé látky v uzavřené nádobě za stanovených zkušebních podmínek.

10) *Kubická konstanta* – má poměr délky k průměru menší než 1 : 2.

U zařízení, kde se vyskytuje prach musí být určeny parametry hořlavosti prachu (při 5 mm tloušťce vrstvy): minimální teplota vznícení rozvřeného prachu, minimální teplota vznícení usazeného prachu.

11) *Minimální teplota vznícení oblaku rozvířeného prachu* – nejnižší teplota horkého povrchu, při které dojde ke vznícení nejsnadněji zápalné směsi prachu se vzduchem při stanovených zkušebních podmínkách.

12) *Minimální teplota vznícení usazené vrstvy prachu* – nejnižší teplota horkého povrchu, při které dojde ke vznícení v usazené vrstvě prachu při stanovených zkušebních podmínkách.

3. Základní charakteristiky a poznatky o výbuchu

Dnešní civilizace a dynamický vědeckotechnický rozvoj se ani v dnešní době neobejde bez využívání přírodních zdrojů, bez složitého průmyslu, který má za cíl nasycit hladovějící trh a uspokojit náročnost obyvatelstva. A právě tento průmysl přináší riziko ve formě technogenní mimořádné události, nazývané též pod pojmem průmyslová havárie. Průmyslové havárie stejně jako přírodní mimořádné události mohou mít značné ničivé účinky s výraznými následky, které se projeví na životním prostředí, životech a zdraví lidí pracujících v průmyslovém závodu nebo žijících vně závodu, na průmyslovém objektu, na objektech v okolí průmyslového závodu, materiálních škodách. Průmyslová havárie může být požár, únik nebezpečných látek nebo výbuch.

Výbuch je podceňovaný jev, přitom jeho činností dochází k narušení konstrukcí, mechanickému poškození nebo destrukci zařízení, budov, usmrcení a poranění osob i do značné vzdálenosti (např. ztráta vědomí, poškození sluchu), zasažení nebo poškození zásahových a únikových cest a následnému vzniku paniky a ztráty orientace osob. Dále vzniku a rozšíření požáru, k uvolnění toxických látek nebo zplodin hoření, úniku kapalin a plynů z technologického zařízení (např. z nádrže). Výbuch je zpravidla charakterizován jevy jako jsou odlétávající mechanické části nebo části konstrukcí, hluk, tlakový ráz, sálavé teplo, žhavé plameny, zplodiny hoření nebo tepelného rozkladu. Co nás však může na možnost výbuchu či na blížící se výbuch upozornit? Jsou to různé zvukové efekty (např. praskot, vibrace), viditelné deformace na zařízení, signalizace poruchy technologických zařízení, světelné, akustické a jiné projevy čidel elektronických zabezpečovacích systémů, náhlá změna intenzity hoření (výška, barva plamene a zplodin hoření), zviřený hořlavý prach, značení prostoru s nebezpečím výbuchu, změna chování zvířat.

Výbuch je fyzikální fenomén, náhlá oxidace nebo rozkladná reakce či rychlé hoření směsi plynu nebo prachu se vzduchem, v omezeném, anebo v částečně omezeném prostoru, kde teplo je generováno větší rychlostí než je odváděno. Výbuch v čase neprobíhá náhodile, nýbrž podle přesných zákonitostí: od ohniska exploze v uzavřeném prostoru se tlak šíří rovnoměrně všemi směry, přičemž je bezprostředně následován plamennou frontou a vyznačuje se vzrůstem tlaku, teploty nebo oběma veličinami současně.

3.1 Druhy výbuchu

Rozlišujeme tzv. primární a sekundární výbuch. Primární výbuch je prvotní výbuch, při němž je koncentrace hořlavého prachu v mezích výbušnosti, tj. vyšší než dolní mez výbušnosti a nižší než horní mez výbušnosti. Sekundární výbuch je následný výbuch, nebo i více následných výbuchů, které vznikly explozí výbušné atmosféry, vytvořené rozvřením usazeného prachu vlivem tlakové vlny primárního výbuchu.

Existuje více typů tohoto fenoménu, proto uvedu jen ty hlavní:

- a) výbuchy kondenzované fáze, tedy tuhých látek, plastických výbušnin, gelů a kapalin explozivní povahy (výbušniny, trhaviny, třaskaviny, zábavná pyrotechnika),
- b) výbuchy směsi hořlavého plynu, hořlavých par či hořlavého prachu se vzduchem,
- c) fyzikální výbuchy (například výbuch tlakové nádoby nebo parního kotle).

Podle toho, zda se výbuch šíří podzvukovou rychlostí, jej nazýváme deflagrace, pokud se šíří nadzvukovou rychlostí a je doprovázen rázovou vlnou, se nazývá detonace.

Podle podstaty vzniku rozeznáváme výbuch **fyzikální** a **chemický**.

1) **Fyzikální výbuch** je způsoben změnou fyzikálních parametrů nad povolenou mez, která má za následek zvýšení tlaku uvnitř zařízení na takovou míru, že dojde k destrukci tohoto zařízení (např. parní kotle, tlakové zásobníky a lahve s plyny, uzavřené nádrže a nádoby s hořlavými kapalinami, spreje, potrubí produktovodů). [6]

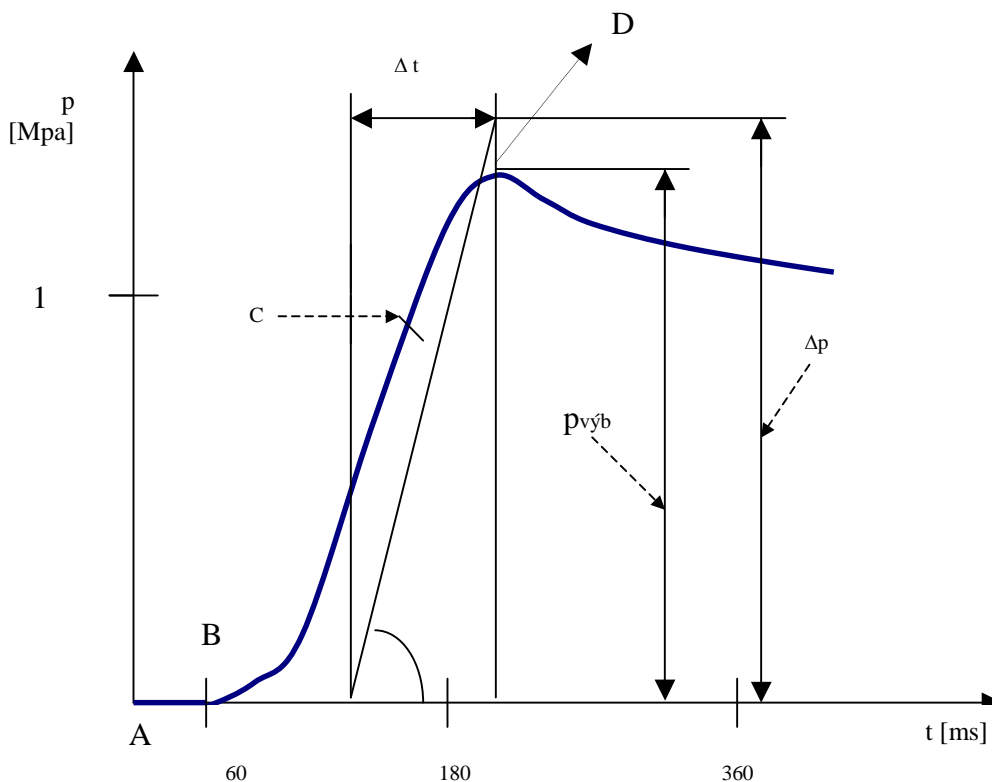
2) **Chemický výbuch** je rychle probíhající hoření směsi hořlavé látky s kyslíkem, vzduchem nebo jiným oxidovadlem (např. chlor) provázené rychlým vznikem zplodin hoření nebo tepelného rozkladu a prudkým nárůstem jejich tlaku. Chemickým výbuchem může být explozivní rozklad látky. Podmínkou chemického výbuchu je přítomnost hořlavé látky, oxidačního prostředku a iniciační zdroj. Hořlavá látka musí být v určitém množství mezi dolní a horní mezí výbušnosti. [6]

3.2 Charakteristika výbuchu

Co je to výbuch, jak se projevuje, jaké jsou účinky výbuchu, jak je možno exploze rozdělit, jsme si už řekli. Teď se zaměříme na samotný jeho průběh, a jak se dá ovlivnit.

Platí zásada, která říká, že pokud by mělo dojít k hoření, musí být splněna podmínka tzv. požárního trojúhelníku. Podle požárního trojúhelníku musí být na jednom místě v stejném čase hořlavý materiál, oxidační prostředek (oxidační prostředí) a dostatečně silný iniciační zdroj (energetický potenciál). Aby však mohlo dojít k výbuchu, či snad, aby se hoření přeměnilo na výbuch, musí být požární trojúhelník doplněn na výbuchový pentagon. K tomu dojde tehdy, když bude splněn požární trojúhelník a přibudou další dvě podmínky – jemně rozptýlená hořlavá látka v potřebné koncentraci se smísí se vzduchem v mezích výbušnosti, a to v určitém omezeném prostoru.

V důsledku exotermické reakce hoření po zapálení výbušné atmosféry v uzavřeném prostoru se vyvíjí větší množství tepla než je odváděno. Nárůst teploty se projevuje zvýšením tlaku, které znázorňuje tzv. výbuchová křivka. Výbuchová křivka je tedy znázornění závislosti tlaku na čase (viz obr. 3.1).



Obr. 3.1 Výbuchová křivka [1]

Body A,B,C,D znázorňují důležité fáze výbuchu. V bodě A dochází k iniciaci. Od bodu A do bodu B uplyne doba indukční periody než se projeví narůstání tlaku. Od bodu B dochází k narůstání tlaku a zvyšuje se teplota, jež má za následek zvyšování reakční rychlosti, která roste až do bodu C (nejvyšší narůstání výbuchové křivky, inflexní bod), ve kterém je nejvyšší. Nárůst výbuchového tlaku vyjadřuje směrnice tečny v inflexním bodě C:

$$tg\alpha = \frac{\Delta p}{\Delta t} \cong \left(\frac{dp}{dt} \right)_{výb}$$

Jelikož ubývá reakčních složek, tak dochází k zmenšování reakční rychlosti až k nule (bod D, maximum křivky, tlak v tomto bodě se nazývá výbuchový tlak). Maximální výbuchový tlak p_{max} (viz kapitola 1), maximální rychlost narůstání výbuchového tlaku $\left(\frac{dp}{dt} \right)_{výb}$ (viz kapitola 1) a tvar výbuchové křivky není vždy stejný, protože se výrazně mění s koncentrací výbušné směsi. Nejvyšších hodnot je dosaženo při optimální koncentraci c_{opt} . Ta je u plynů a par o málo vyšší než stechiometrická. U prachů však je:

$$c_{opt} = (2 \text{ až } 3) * c_{stech} \quad [1]$$

Výbuchový tlak i rychlost narůstání výbuchového tlaku se při zvyšování i snižování optimální koncentrace snižuje až k mezím výbušnosti (viz obr. 2.2), které ohraničují rozsah výbušnosti v nichž je možné šířit výbuch, mimo tyto meze však nikoliv. Hoření neprobíhá při dolní mezi výbušnosti při nedostatku hořlavé látky ve směsi s oxidačním prostředkem. Kdežto horní mez výbušnosti představuje nedostatek oxidačního prostředku ve směsi. [1]

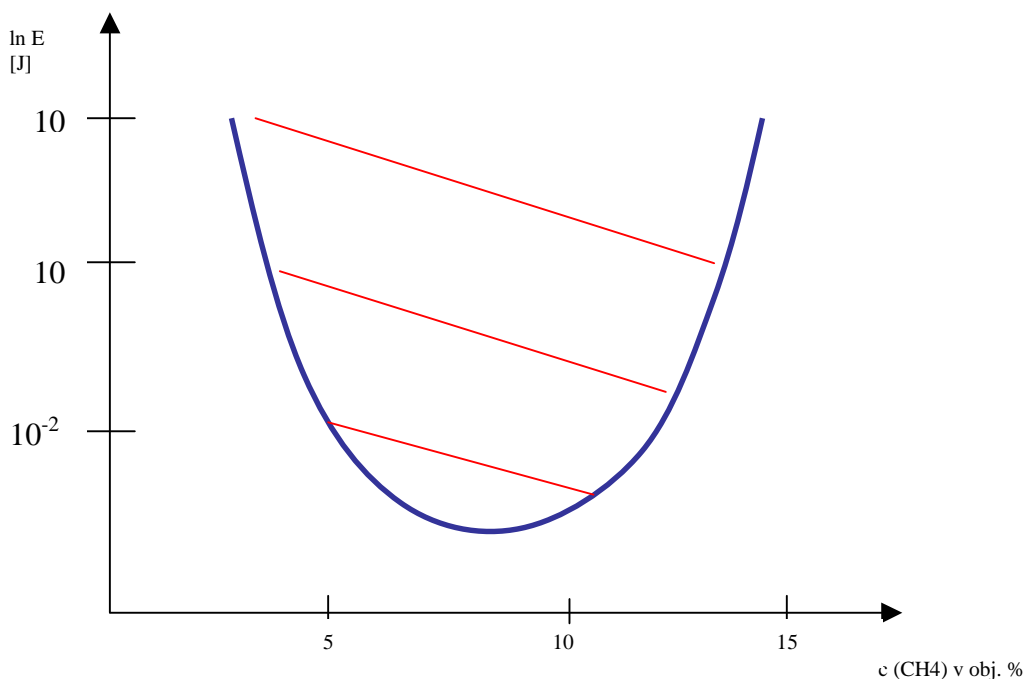
3.3 Co ovlivňuje meze výbušnosti?

Skutečné pracovní podmínky se mnohdy velmi liší od těch laboratorních, proto je důležité znát různé vlivy na meze výbušnosti a počítat s nimi při posuzování nebezpečí.

Meze výbušnosti ovlivňuje:

3.3.1 Velikost iniciační energie E_i

S rostoucí iniciační energií se rozšiřuje rozsah výbušnosti, přičemž se zejména horní mez posouvá k vyšším hodnotám, jak je uvedeno na příkladu směsi metanu se vzduchem na obr. 3.2 (šrafovaná oblast je oblast výbušnosti). Meze výbušnosti se běžně stanovují při pokojové teplotě, atmosférickém tlaku a standardní iniciační energii, která je u plynů a par 10 J a u prachů 10 KJ. (U některých látek tyto standardní energie nestačí k iniciaci a proto je nutno použít energie vyšší.) [1]



Obr 3.2 Vliv velikosti iniciační energie na meze výbušnosti směsi metanu se vzduchem [1]

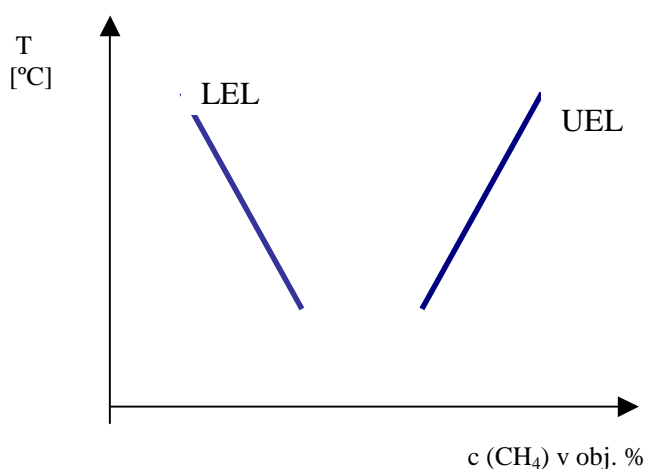
3.3.2 Počáteční tlak v okamžiku iniciace $p_{poč}$

S rostoucím počátečním tlakem se zvyšuje horní mez výbušnosti. (Dolní mez se snižuje jenom nepatrně.) S klesajícím tlakem se zužuje rozsah výbušnosti a u některých směsí se oblast výbušnosti uzavírá, takže při určitém podtlaku vůbec nedochází při dané iniciační energii k výbuchu. Podtlak je tedy možno uvažovat jako protivýbuchové opatření. [1]

3.3.3 Počáteční teplota

S počáteční teplotou se rozsah výbušnosti rozšiřuje. Spodní mez výbušnosti se snižuje a horní se zvyšuje. Závislost je lineární, ale směrnice přímky není stejná pro všechny hořlavé látky (viz obr. 3.3). [1]

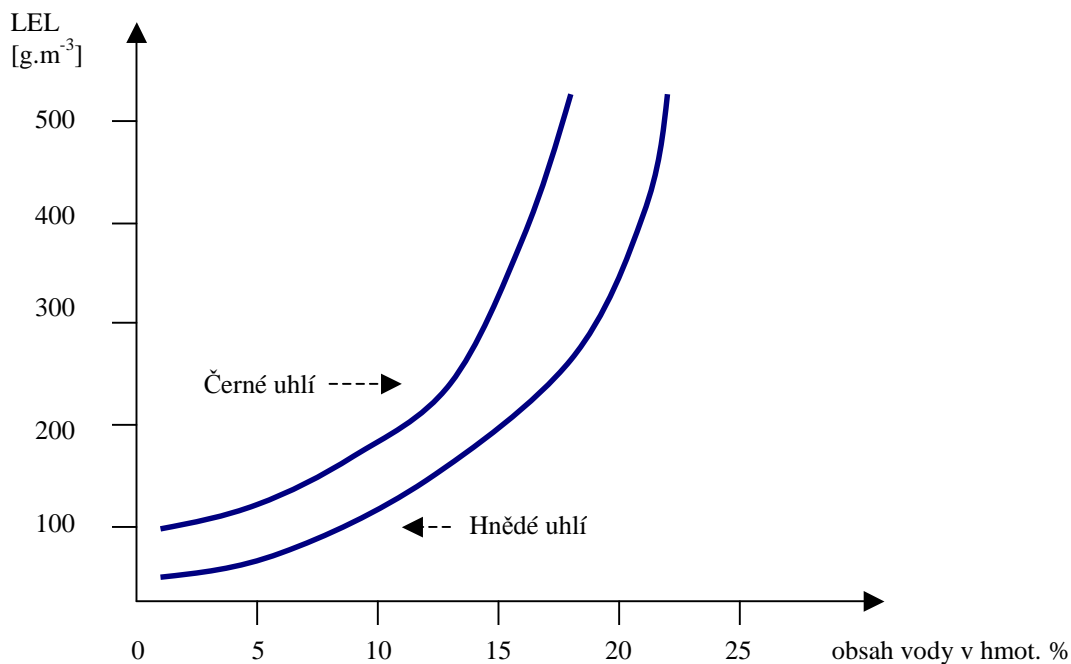
Teplota má také vliv na maximální výbuchový tlak p_{max} . Se zvyšující se počáteční teplotou dochází ke snižování maximálního výbuchového tlaku. Tento jev je zapříčiněn snížením obsahu kyslíku na jednotku objemu prachovzdušné směsi. [4]



Obr. 3.3 Závislost počáteční teploty na meze výbušnosti

3.3.4 Vlhkost

Relativní vlhkost směsi plynu se vzduchem ovlivní rozsah výbušnosti jenom nepatrně. Největší rozsah výbušnosti má suchá směs. U prachů se s rostoucím obsahem vlhkosti zvyšuje dolní mez výbušnosti (viz obr. 3.4) a při obsahu vody nad 20 hmot. % je již prach nevýbušný. Vlhkost je proměnný faktor, neboť prach může vyschnout. [1]



Obr. 3.4 Vliv vlhkosti na dolní mez výbušnosti hořlavého prachu [1]

3.3.5 Obsah kyslíku

S rostoucím obsahem kyslíku se horní mez výbušnosti výrazně posouvá k vyšším hodnotám (na horní mezi výbušnosti je nedostatek kyslíku). Spodní mez výbušnosti zvýšený obsah kyslíku neovlivní, protože kyslík má zhruba stejnou měrnou tepelnou kapacitu jako dusík. [1]

3.3.6 Vytváření hybridní směsi

Zvýšené nebezpečí představuje v provozu vytvoření hybridní směsi. Ta se vytvoří smícháním hořlavých prachů, hořlavých plynů či par se vzduchem. K tomu může dojít například v průběhu nebo důsledku [4]:

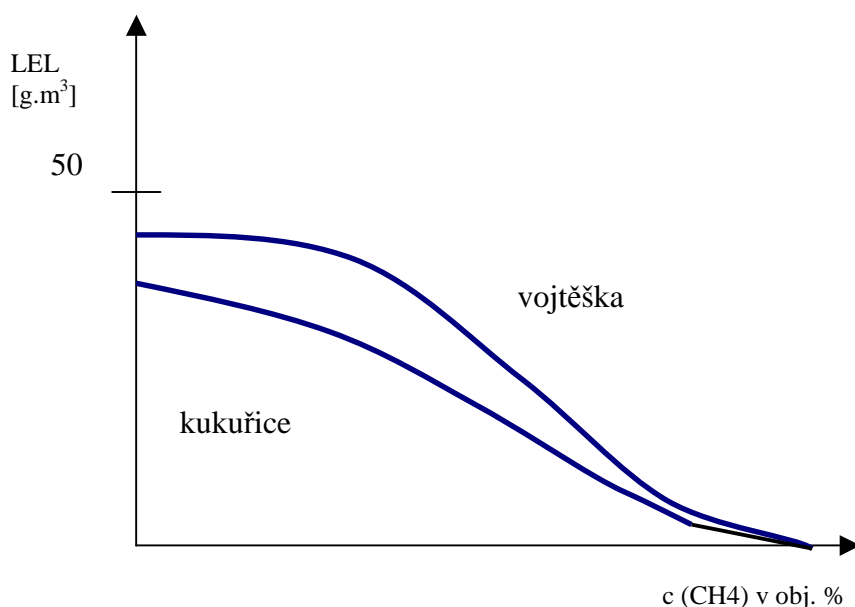
- 1) při zpracování, dopravě, skladování a výrobě práškových materiálů obsahujících rozpouštědlo,
- 2) vzniku rozkladných zplodin z přehřátých prachových produktů, při zpracování práškovitých materiálů se zbytky hořlavých rozpouštědel
- 3) karbonizace přehřátých práškových organických produktů.

Výbuchy hybridních směsí metanu, uhelného prachu a vzduchu jsou také příčinou většiny závažných explozí v uhelných dolech.

Pro většinu prachů, které se vyskytují v zemědělských, potravinářských či krmivářských provozech je dolní mez výbušnosti nebo minimální výbušná koncentrace 50 g.m^{-3} . Takové koncentrace se nacházejí často např. v drtičích. V běžné praxi se však tato

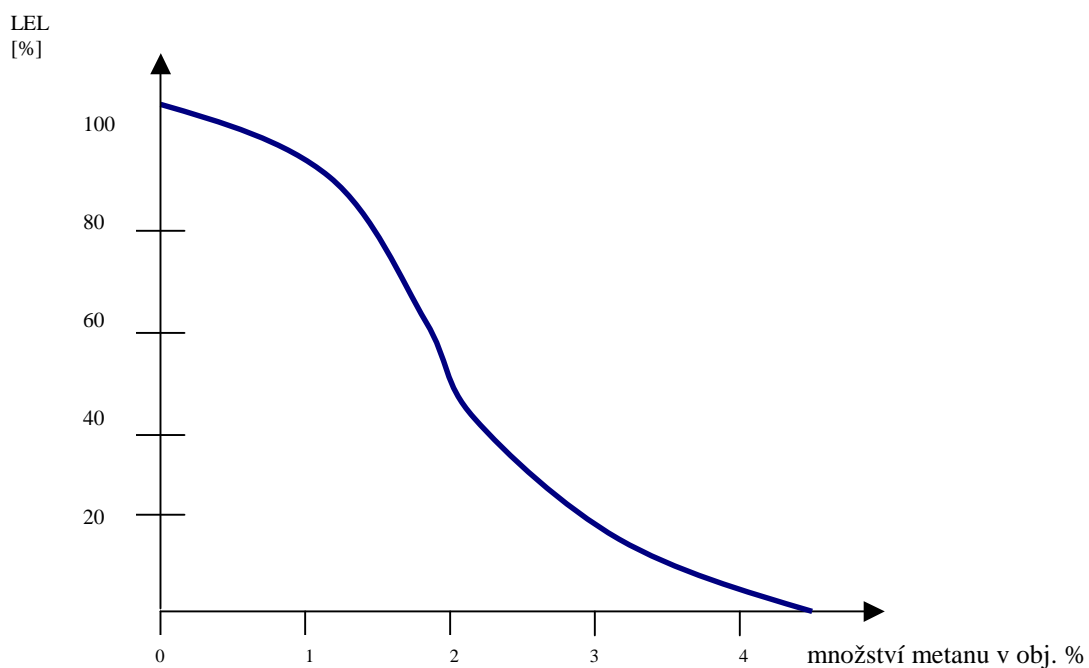
koncentrace na pracovištích z hygienického hlediska nevyskytuje, protože převyšuje mnohonásobně přípustné expoziční limity. Může se však vyskytnout v případě, kdy dojde k zvěření usazeného prachu (když je ho dostatek), ke kterému dojde v důsledku tlakové vlny, jež se šíří po primárním výbuchu. U hybridních směsí je však dolní mez výbušnosti nižší a k výbuchu může dojít, i pokud se nedosáhne této hranice. Obrázek 3.5 zobrazuje vliv příměsi metanu na dolní mez výbušnosti zemědělských prachů.

Za hybridní směsí lze do určité míry považovat i mlhy. Tyto systémy obsahují kapalnou fázi hořlaviny ve formě malých kapek a část hořlaviny je odpařená do okolní atmosféry. Mlhy se obecně pokládají za nebezpečnější než samotné páry hořlaviny. [4]



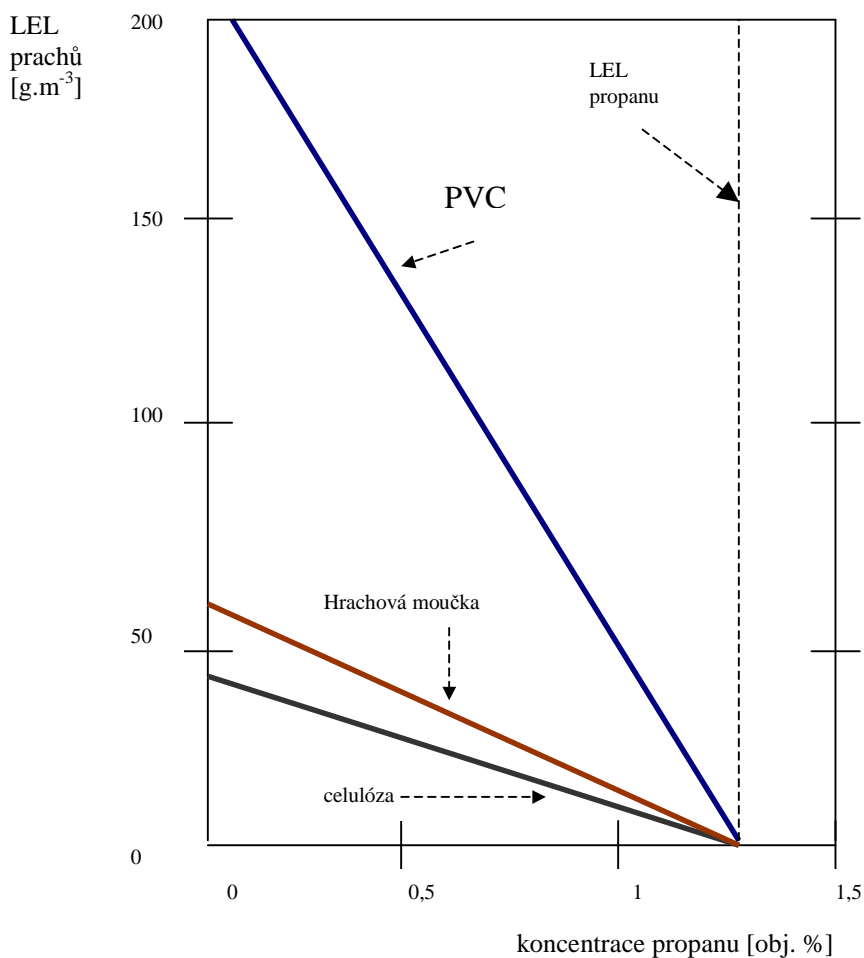
Obr. 3.5 Vliv příměsi metanu na dolní mez výbušnosti zemědělských prachů [1]

Další nebezpečnost hybridních směsí je v tom, že k tomu, aby se staly výbušné, stačí při jejich vytváření přidat do prachu jen malou příměs plynu. Také prachy, které při použití i velmi silného iniciačního zdroje jsou nevýbušné, např. kvůli zvýšené vlhkosti nebo zrnitosti, se s přidavkem hořlavého plynu nebo páry stávají výbušnými. Na obrázku 3.6 je znázorněn procentuální pokles původní meze výbušnosti hořlavého prachu.



Obr. 3.6 Procentuální pokles původní meze výbušnosti hořlavého prachu. [1]

Koncentrace plynu značně ovlivňuje výbuchové charakteristiky, a to tak, že dochází k výraznému zvýšení výbuchových parametrů. To znamená nárůst ničivé síly exploze. S rostoucím obsahem plynu lineárně klesá spodní mez výbušnosti. Na obrázku 3.7 je znázorněn vzájemný vztah LEL tří různých hořlavých prachů v závislosti na obsahu propanu ve vzduchu.



Obrázek 3.7 Vzájemný vztah LEL tří různých hořlavých prachů v závislosti na obsahu propanu ve vzduchu. [4]

3.4 Ovlivnění průběhu výbuchu

Na maximální výbuchové parametry a samotnou explozi mají vliv tyto parametry:

3.4.1 Velikost objemu a tvar nádoby [1]

Nádoby jsou kubické a podlouhé. Kubická nádoba má délku l menší nebo rovnou dvěma průměrům d : $l \leq 2d$. S rostoucím objemem nádoby klesá rychlost narůstání výbuchového tlaku. Tuto závislost popisuje u kubických nádob tzv. kubický zákon:

$$\left(\frac{dp}{dt} \right)_{\max} \cdot V^{\frac{1}{3}} = \text{konst.} = K_G, \text{ resp. } K_{St}$$

$(dp/dt)_{\max}$ maximální rychlost narůstání výbuchového tlaku v Mpa.s^{-1} nebo v bar. s^{-1}
 V objem nádoby
 K_G, K_{St} kubická konstanta pro plyny resp. pro prachy v Mpa.m.s^{-1} nebo v bar.s^{-1}

Kubická konstanta může být technicko bezpečnostním parametrem, jsou-li splněny tyto podmínky:

- 1) optimální koncentrace výbušné směsi,
- 2) stejný tvar nádoby,
- 3) stejný stupeň turbulence směsi,
- 4) stejný druh a stejná energie iniciačního zdroje.

Maximální výbuchový tlak se s rostoucím objemem nemění. V kubických nádobách je dosahováno tlaků až 1 Mpa u hořlavých plynů a par a až 1,3 Mpa u hořlavých prachů. Rychlost šíření může být až 500 m.s^{-1} . Kubický zákon neplatí u podlouhých nádob, kde rychlost šíření čela plamene se může zvýšit až na detonační rychlost 2000 m.s^{-1} s radiálními tlaky až 3 Mpa a osovými tlaky až 9 Mpa, to znamená, že s rostoucí délkou potrubí se zvyšují maximální výbuchové parametry. Kubická konstanta u prachovzduchových směsí se označuje K_{St} a podle ní se hořlavé prachy rozdělují do tříd viz tab. 1.

Tabulka 1. Rozdělení hořlavých prachů

Třída	K_{St} V Mpa.m.s^{-1} .	Příklady		
		Prach	p_{\max}	K_{St}
St 1	0 – 20	PVC	8,5	9,8
		PE	8,8	13,1
St 2	20 – 30	celulóza	9,8	22,9
		dřevo	10,5	23,8
St 3	nad 30	pigment	10,7	34,4
		hliník	12,5	200,0

3.4.2 Počáteční tlak v okamžiku iniciace [1]

Počáteční tlak neovlivní počáteční koncentraci. Maximální výbuchové parametry se s rostoucím počátečním tlakem rovnoměrně zvyšují. Je tomu tak proto, že se zvětšuje množství směsi o optimální koncentraci. Snížení tlaku naopak zmenšuje maximální výbuchové parametry. Proto se snížení tlaku používá jako určité preventivní opatření zmírňující následky výbuchu. U prachů se s rostoucím počátečním tlakem zvyšuje optimální koncentrace. Většímu množství vzdušného kyslíku ve zkomprimované atmosféře je nutno pro dosažení optimální koncentrace přidat větší podíl prachu.

3.4.3 Počáteční teplota [1]

Zvýšení počáteční teploty způsobí zvýšení maximální rychlosti narůstání výbuchového tlaku – reakční rychlost s teplotou roste.

3.4.4 Iniciační energie [1]

S rostoucí iniciační energií se zvyšuje zejména maximální rychlost narůstání výbuchového tlaku. Nízkou iniciační energií se některé směsi nedají iniciovat. Při zkoušení vlastností směsí se jako standardní energie používá pro plyny a páry energie 10 J, pro prachy pak 10 KJ. Aby nebyli některé látky pokládány za nevýbušné, musíme u nich použít vyšší energii.

3.4.5 Turbulence směsi [1]

S rostoucí turbulencí směsi v okamžiku iniciace se zvyšují maximální výbuchové parametry, zejména maximální rychlost narůstání výbuchového tlaku. Nárůst parametrů je větší u plynů a par s nízkou hodnotou kubické konstanty v klidovém stavu.

3.4.6 Velikost částic u prachu [1]

S rostoucí velikostí částic, tj. s klesající velikostí měrného povrchu, se maximální výbuchové parametry snižují. Při střední velikosti částic větší než 0,4 mm nelze již většinu prachů standardní energií iniciovat. Stačí však přídavek 5 – 10 hmot. % jemných podílů prachu o střední velikosti zrna cca 0,04 mm a směs je opět výbušná. Přitom si je nutno uvědomit, že při manipulaci s prachem vznikají z větších částic otěrem menší.

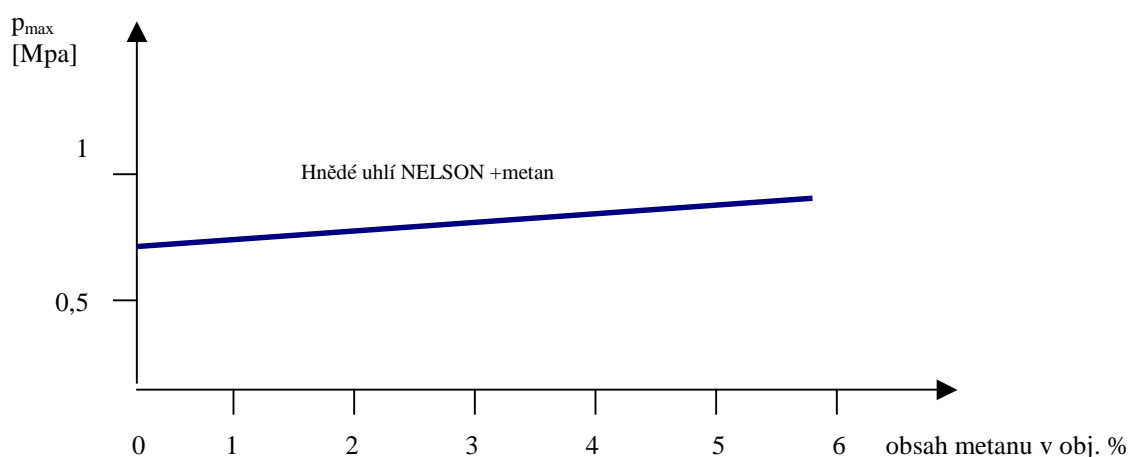
3.4.7 Vliv obsahu kyslíku v oxidační atmosféře [1]

Zvýšený obsah kyslíku způsobí zvýšení výbuchových parametrů s výjimkou spodní meze výbušnosti, která zůstane neovlivněna. Horní mez výbušnosti se výrazně zvyšuje.

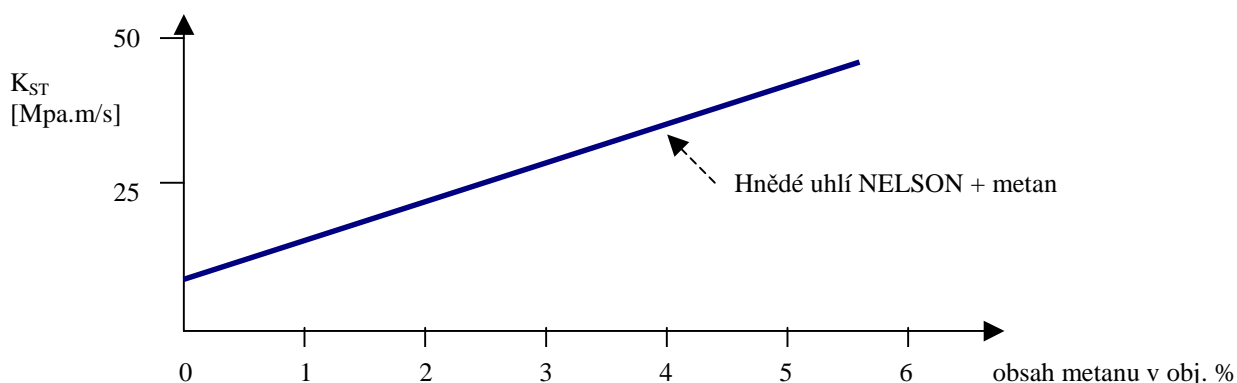
Opačný vliv má snížení obsahu kyslíku. Při poklesu obsahu kyslíku pod tzv. limitní obsah již nemůže k výbuchu dojít. Limitní hodnoty jsou závislé na druhu hořlavé látky. U hořlavých prachů je koncentrace potřebná pro dosažení nevýbušnosti prachu podstatně vyšší než mezní koncentrace kyslíku při požáru prachu.

3.4.8 Hybridní směsi [1]

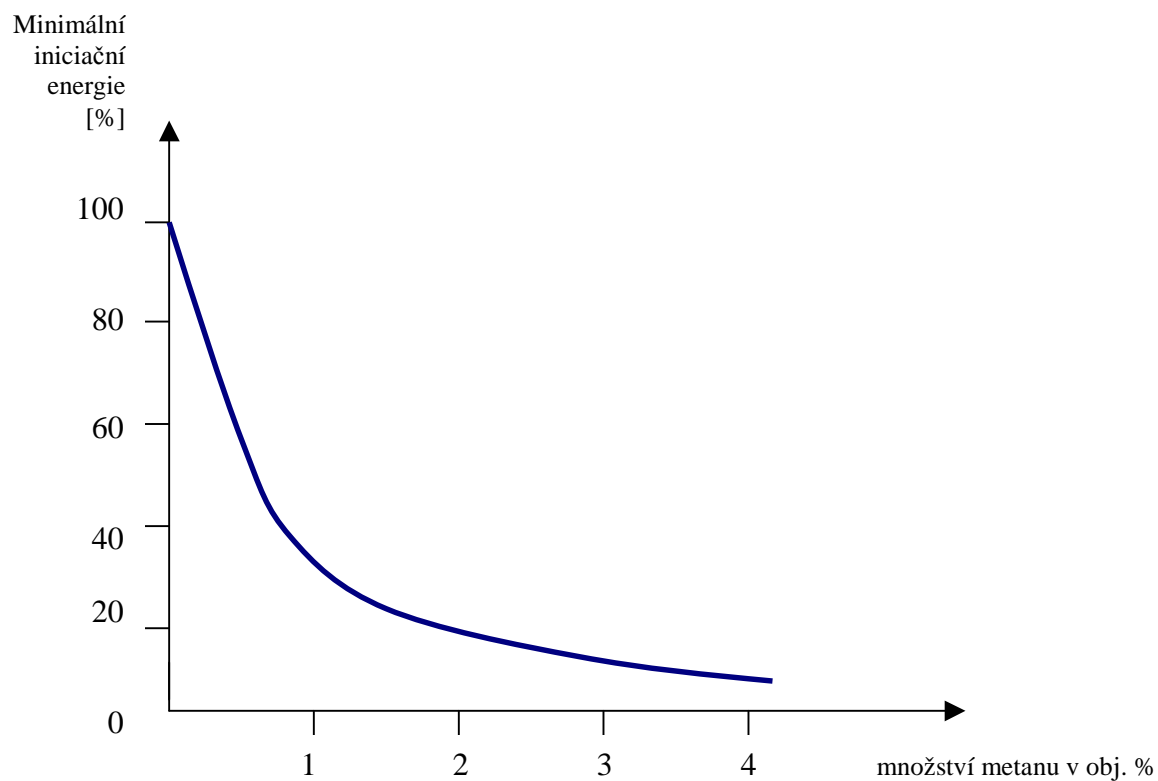
Maximální výbuchové parametry se zvyšují (maximální výbuchový tlak viz obr. 3.8, maximální rychlost narůstání výbuchového tlaku viz obr. 3.9), spodní mez výbušnosti, minimální iniciační energie (viz obr. 3.10) a optimální koncentrace (viz obr. 3.11) se prudce snižují. Hybridní směsi jsou už rozebrány v kapitole 3.3.6 Vytváření hybridních směsí.



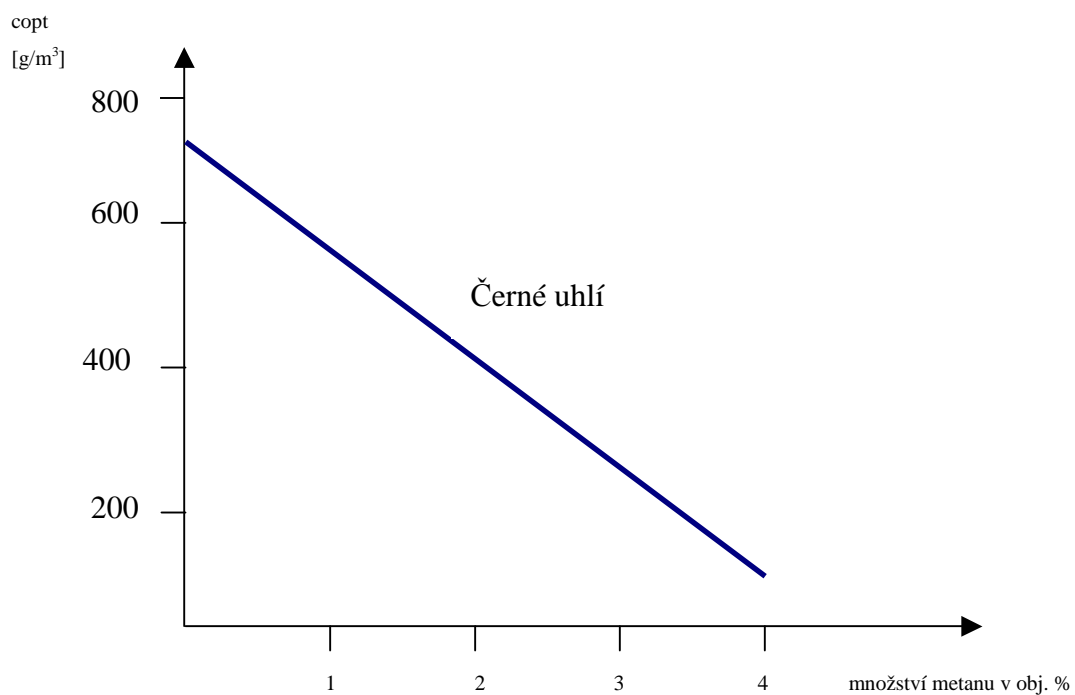
Obr. 3.8 Vliv přidavku malého množství metanu na maximální výbuchový tlak [1]



Obr. 3.9 Vliv přidavku malého množství metanu na výbuchovou konstantu K_{st} [1]



Obr. 3.10 Vliv příměsi malého množství metanu na pokles minimální iniciační energie [1]



Obr. 3.11 Vliv příměsi metanu na hodnotu optimální koncentrace [1]

4. Stanovení nebezpečí výbuchu

Častá chyba je, že se předpokládá při výskytu iniciačního zdroje nebezpečí exploze. To by znamenalo, že při absenci iniciačního zdroje nehrozí výbuch. To je však velký omyl, který může mít značný dopad na životy a zdraví lidí, majetek i životní prostředí. Správná je myšlenka, jež nám říká, že iniciace výbušné směsi je možná vždy. Nebezpečí exploze tedy hrozí, pokud jsou splněny látkové předpoklady výbuchu. Prvním krokem tedy musí být zjištění, zda hořlavé látky jsou přítomny v posuzovaném prostoru či zařízení, nebo v okolí zařízení. Druhým, jestli můžou se vzduchem nebo jiným oxidačním prostředkem vytvářet při daných podmínkách výbušné směsi. Třetím, zda se může výbušná směs, na základě posouzení pracovních a místních podmínek, vyskytovat v nebezpečném rozsahu a v nebezpečném množství. Nesmíme zapomínat taky na to, že se výbušná atmosféra může vytvářet chemickými reakcemi anebo biologickými procesy z přítomných materiálů.

Kde se nachází hořlavé látky, může se se vzduchem vytvářet výbušná atmosféra, pokud zkoušky neprokázaly opak. Experimentálně se v laboratořích stanovují příslušné technicko bezpečnostní parametry, které popisují vlastnosti látek. Někdy je možno získat je také výpočtovými metodami. Nejsou však zavazující, v některých případech spíše zavádějící, poněvadž závisí na mnoha faktorech, zejména u hořlavých prachů (velikost a tvar částic, vlhkost, přísady, příměsi, větrání).

4.1 Možnost výskytu výbušné směsi [1]

Zda se může v zařízení vyskytnout výbušná směs, závisí na vlastnostech látek a na pracovních podmínkách. Vlastnosti látek vyjadřují technicko bezpečnostní parametry:

- a) u plynů a par hořlavých kapalin
 - dolní a horní mez výbušnosti udaná v objemových procentech nebo u par kapalin v g.m^{-3}
- b) u par hořlavých kapalin
 - dolní a horní bod výbušnosti v g.m^{-3} (teplotní meze výbušnosti) resp. bod vzplanutí ve $^{\circ}\text{C}$
- c) u prachů a mlh

- dolní mez výbušnosti v g.m^{-3} a bod nízkotepečné karbonizace prachu

Pracovní podmínky charakterizuje pracovní teplota, tlak, stav pohybu prostředí (klid, turbulence), velikost, tvar a uspořádání pracovního prostoru, resp. jeho propojení s jinými prostory, způsob zpracování kapaliny (rozstřík, nástřík, odpařování, kondenzace), přítomnost nebo vznik prachu a tvorba usazenin nebo směsi prachu se vzduchem, např. při mletí, prosévání, plnění apod.

Vytváření výbušné směsi ovlivní níže uvedené pracovní podmínky:

Únik látky z uzavřeného zařízení např. potrubními spoji, netěsností armatur apod.

Odvětrání a prostorové uspořádání, např. s přítomností hořlavých látek a směsí je nutno počítat v místech, která nejsou dostatečně odvětrána, např. jámy, kanály, šachty.

U plynů a par si je nutno uvědomit, že již malý pohyb vzduchu (přirozený tah, pohyb osob, tepelná konvekce) může významně urychlit promíchání hořlavé látky se vzduchem.

U kapalin má vliv na vytváření směsi velikost výparné plochy, pracovní teplota, rozstřík kapaliny.

U prachů existuje možnost rozvíření kapalin.

4.1.1 Hořlavé kapaliny

Nebezpečná koncentrace hrozí, když

$$k_{b1} * LEL < c_{\text{skut}} < k_{b2} * UEL \quad [1]$$

kde

k_{b1}, k_{b2} bezpečnostní koeficienty,

LEL,UEL dolní a horní mez výbušnosti [obj. %] nebo $[\text{g.m}^{-3}]$

c_{skut} skutečná koncentrace [obj. %] nebo $[\text{g.m}^{-3}]$

V uzavřeném zařízení nebo nádrži se skutečná koncentrace par hořlavé kapaliny rovná koncentraci nasycených par:

$$C_{\text{skut}} = C_s \quad [1]$$

kde

C_s koncentrace nasycených par hořlavé kapaliny [obj. %]

a koncentrace nasycených par se vypočítá:

$$c_s = \frac{p_s}{p_{\text{prac}}} \cdot 100 \quad [1]$$

kde

p_s tlak nasycených par kapaliny při dané teplotě [Pa]

p_{prac} pracovní tlak [Pa]

V uzavřeném prostoru se pro hodnocení nebezpečí výbuchu par hořlavých kapalin používá teplotních mezí výbušnosti. Nebezpečí výbuchu hrozí, jestliže:

$$\text{LEL} - \Delta t \leq t_{\text{prac}} \leq \text{UEP} + \Delta t \quad [1]$$

kde

LEP, UEP (viz základní pojmy) dolní a horní bod (teplotní mez) výbušnosti [°C]

4.1.2 Hořlavé plyny [1,2]

U plynů a přehřátých par hořlavých kapalin ve směsi se vzduchem, s kyslíkem, chlorem a jinými oxidačními činidly hrozí nebezpečí výbuchu, jestliže platí:

$$k_{b1} \cdot \text{LEL} < c_{\text{skut}} < c_{\text{neb.H}} = 100 - (100 - \text{UEL}) / k_{b2} \quad [1]$$

Skutečná koncentrace hořlavého plynu v objemových % se stanoví ze vztahu:

$$C_{skut} = \frac{V_{plyn}}{V_{plyn} + V_{ox}} \cdot 100 \quad [1]$$

Bezpečnostní koeficienty se obvykle uvažují:

$k_{b1} = 0,5$,

$k_{b2} = 1,04$ až $1,1$ pro nízké hodnoty UEL,

$k_{b2} = 1,32$ až $2,52$ pro vysoké hodnoty UEL, např. H_2 , C_2H_2 , CH_3OH .

Při otevřeném povrchu hořlavé kapaliny, např. u máčecích van, kalících lázní se nad hladinou vytváří výbušná koncentrace par hořlavé kapaliny, je-li splněna nerovnice:

$$t_{prac} \leq FP - \Delta t \quad [1]$$

kde

FP bod vzplanutí [$^{\circ}C$]

4.1.3. Hořlavé prachy [1,2,3]

Obecně se za prach považují částice menší než $0,5$ mm. Větší délka než $0,5$ mm může být u vláknin. Prach je tedy rozmělněná pevná látka, může jím být pudr, moučka, prášek, úlomky vláken a tak podobně. Prach existuje jako výrobek (mouka), polotovár (léčiva před tabletováním), nebo odpadem (obilný prach). Vyskytuje se ve dvou stavech – usazený prach (aerogel) a rozvířený prach (aerosol). Samozřejmě může přejít z jednoho stavu do druhého. Rozvířený prach přejde sedimentací do usazeného stavu, kdežto usazený se rozvíří např. proudem vzduchu, vibracemi, tlakovou vlnou.

Hořlavý prach je schopen oxidační reakce doprovázené vývinem tepelné a světelné energie. Hořlavý prach může vznikat třeba z hmoty, která obsahuje více než 10 hmot. % látky schopné oxidace.

Rozvířený hořlavý prach je schopen prudké oxidační reakce, připomínající výbuch, jež za určitých podmínek může přejít v detonaci. Je dobré mít na paměti, že každá detonace prachu může přejít v hoření a naopak, každé hoření může přejít ve výbuch. Výbuch prachu může přejít v hoření zbytku nezreagovaného prachu (v optimálním případě shoří nejvýše polovina rozvířené hmoty prachu). Pokud je výbuchem spotřebován vzdušný kyslík, či snad je snížen obsah kyslíku ve vzduchu na příslušnou míru, nemusí vzniknout požár. Prudkost reakce hoření prachu je určována zejména těmito vlivy:

- jemností prachu,
- množstvím prachu a jeho koncentrací,
- koncentrací kyslíku v oxidační atmosféře,
- tvarem prostoru, v němž se prach nachází,
- stavem pohybu výbušné směsi prachu se vzduchem,
- teplotou směsi v okamžiku iniciace,
- vlhkostí prachu,
- obsahem a příměsí tuhých inertních látek,
- současným výskytem hořlavého plynu nebo páry hořlavé kapaliny.

Prach v usazeném stavu může podle druhu látky hořet plamenem (bavlna, plastické hmoty), žhnout (dřevné uhlí), nebo doutnat (pyrolyzní produkty nedosahují potřebnou koncentraci k plamennému hoření. Nebezpečí požáru hrozí tam, kde se prach usazuje v souvislé vrstvě schopné šířit požár. Za takovou vrstvu se považuje už vrstva 1 mm.

Prostředí s nebezpečím výbuchu hořlavých prachů se vytváří v prostoru, kde se může vytvořit nebezpečné množství výbušné směsi prachu se vzduchem. K tomu je zapotřebí dostatečné množství prachových částic, to znamená, že skutečná koncentrace prachu c_{skut} musí být větší než nebezpečná koncentrace c_{neb} :

$$c_{skut} \geq c_{neb}$$

Nebezpečná koncentrace c_{neb} se určuje na základě dolní meze výbušnosti daného prachu LEL:

$$c_{neb} = k_b * LEL \quad [1]$$

kde

k_b bezpečnostní koeficient.

Podle místa výskytu může být prach uvnitř výrobního zařízení a vně výrobního zařízení (např. výrobní hala).

1) Nebezpečí výbuchu uvnitř výrobního zařízení [1]

Skutečná koncentrace v zařízení c_{skut} se vypočítá podle vztahu:

$$c_{skut} = \frac{m}{V}$$

kde

m hmotnost daného prachu [g],

V objem zařízení, v němž je prach rozvířen [m³]

Při proudění prachu v potrubí platí:

$$c_{skut} = \frac{m_p}{V_p} = \frac{m_p}{S \cdot w}$$

kde

m_p množství přepravovaného prachu [g.s⁻¹],

V_p množství proudícího vzduchu [m³.s⁻¹],

S průřez potrubí [m²],

w rychlost proudění vzduchu [m.s⁻¹].

Jelikož nikdy nelze zaručit homogenitu prachového mraku a je možné uvažovat změnu koncentrace sedimentací, se z bezpečnostního hlediska horní mez výbušnosti nepoužívá. Nebezpečí výbuchu hrozí i tehdy, když je skutečná koncentrace vyšší než horní mez výbušnosti. Horní mez výbušnosti se málokde vyskytuje, protože je velmi vysoká – i několik tisíc g.m⁻³.

2) Nebezpečí výbuchu vně výrobního zařízení [1,2]

Vně výrobního zařízení (ve výrobních prostorách) se skutečná průměrná koncentrace vypočítá:

$$c_{skut} = \frac{m}{V_{míst}} = \frac{l \cdot b \cdot s \cdot q}{l \cdot b \cdot h} = \frac{s \cdot \rho}{h} \quad [1]$$

kde

m	množství (hmotnost) usazeného prachu na půdorysné ploše místnosti [g],
$V_{míst}$	objem místnosti [m^3],
l, b, h	délka, šířka, a výška místnosti [m],
s	tloušťka usazené prachové vrstvy [m],
c_{skut}	skutečná průměrná koncentrace prachu [$g \cdot m^{-3}$]
ρ	sypná hustota prachu [$g \cdot m^{-3}$].

Tloušťka nebezpečné vrstvy s_{neb} se vypočítá:

$$s_{neb} = \frac{c_{neb} \cdot h}{\rho} = \frac{k_B \cdot c_{min} \cdot h}{\rho} \quad [1]$$

U většiny hořlavých prachů vychází pro běžné výšky místností nebezpečná tloušťka vrstvy menší než 1 mm. Pro většinu hořlavých prachů při rovnoměrné vrstvě prachu na podlaze o tloušťce 1 mm stačí k tomu, aby se při jeho rozvíření v celém objemu vytvořila výbušná směs.

4.1.4 Nebezpečné zóny [3]

Nebezpečné zóny se podle výskytu pravděpodobnosti výbušné koncentrace rozlišují na:

1) Zóna 20 – zahrnuje místa, kde nebezpečné množství výbušné směsi prachu se vzduchem se vyskytuje často nebo dlouhodobě, jedná se obvykle o vnitřní prostory zařízení (mlýny, míchadla, sušárny, dopravní vedení sila), ve kterých se tvoří výbušná směs.

2) Zóna 21 – zahrnuje místa (uvnitř nebo vně zařízení), u kterých se počítá s tím, že se při normálním provozu rozvřením usazeného prachu krátkodobě vytváří nebezpečné množství výbušné směsi.

3) Zóna 22 – obsahuje místa uvnitř nebo vně zařízení, u kterých je nepravděpodobné, že se při normálním provozu vytvoří výbušná směs. Pokud se však vytvoří, pak jenom po krátkou dobu. Usazené vrstvy mohou způsobit vznik výbušné koncentrace při jejich náhodném rozvření. Patří sem i prostory, jež nepatří do 21 zóny, nebo které navazují na 21 zónu.

4.2 Množství a nebezpečí výbušné směsi [1]

Nad otázkou, jaké množství výbušné směsi vzniká při daných pracovních podmínkách, je se třeba zamyslet. U plynů a par hořlavých kapalin musíme uvažovat jejich poměrnou hustotu, vzhledem ke vzduchu, která je u většiny látek větší než hustota vzduchu. Čím je hustota par i plynů větší, tím rychleji klesají a šíří se do stran i na velké vzdálenosti. Hustota směsi par kapaliny se vzduchem je dána tlakem par kapaliny, závisící na teplotě. Naopak, čím je hustota směsi par kapaliny menší než vzduch, tím stoupají vzhůru rychleji.

Zda je vytvořené množství směsi nebezpečné, musíme nejdříve posoudit možné účinky výbuchu předpokládaného množství výbušné směsi. Použijeme výbuchové parametry, např. maximální výbuchový tlak a maximální rychlost narůstání výbuchového tlaku. Samozřejmě nesmíme zapomenout na místní a provozní podmínky.

5. Stanovení dolní meze výbušnosti vlastním měřením

Dolní mez výbušnosti je ve své podstatě měřená veličina, která tvoří základ pro stanovování prostředí s nebezpečím výbuchu. Já jsem své měření dolní meze výbušnosti prováděl ve výbuchové komoře VK 100, která je na obrázku 5.1.

5.1 Popis a charakteristika výbuchové komory VK 100



Obr. 5.1 Výbuchová komora VK 100

Výbuchová komora VK 100 je komora zkonstruovaná pro měření hranice výbušnosti prachovzduchových směsí, případně směsí par plynů. Abychom dosáhli co nejmenšího povrchu k objemu, je i tato komora jako v současné době mnoho používaných zařízení kulovitého tvaru, proto se jedná o válcovitou komoru s průměrem a výškou zhruba $D/H = 1$ a to kolem 50 cm. Objem je roven podle názvu 100 litrů. Povrch zhotovený z nerez plechu má tloušťku 3 mm. Na vrchní část, která je otevřená se umísťuje průtržná membrána, kterou představuje papír, a jež je jednou z možných podmínek pozitivní zkoušky – výbuchu. Spodní uzavřenou částí je komora usazena na kovové skříni o rozměrech 80*80*80cm. Skříň obsahuje přídavné

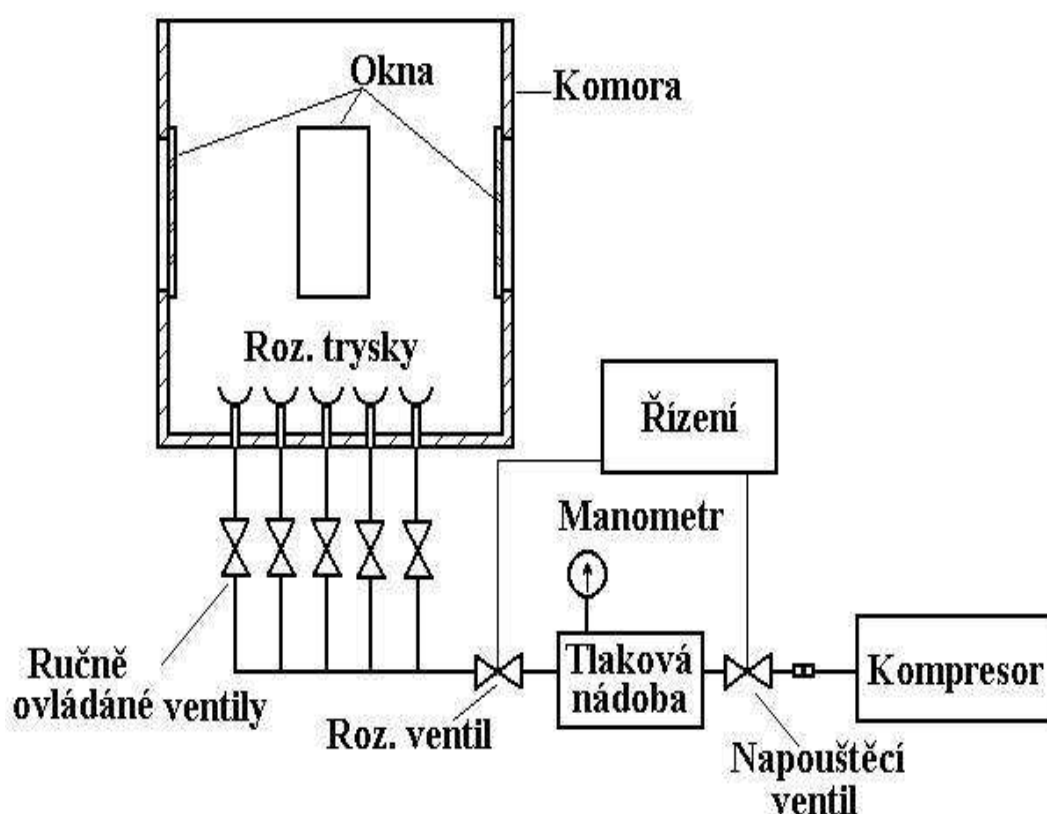
a obslužné prvky komory (tlakovou nádobu na 10litrů, systém rozvodného potrubí s elektroventily, ručně ovládané ventily, manometry...). Ovládací prvky jsou vyvedené buď na přední část skříně nebo pomocí kabelu pro ovládání z bezpečné vzdálenosti. Skříň je vybavena kolečky a tvoří tak s komorou mobilní posuvný systém. [7]

Ve stěně komory se nacházejí 4 otvory jimiž prostupují dva páry elektrod. Jeden pár je tvořen jiskrnou elektrodou, která by měla být v budoucnu používána jako iniciační zdroj pro zapálení směsi. Druhý pár je určen pro umístění chemické rozbušky. Vizuální pozorování procesu výbuchu či rozvířování umožňují v polovině výšky stran výbuchové komory otvory překryté silnostěnným plexisklem o velikosti 22*10 cm.

5.1.1 Pneumatický obvod

Tlakový vzduch pro rozvíření je získáván z připojeného přenosného kompresoru (max. dodávány tlak kompresoru 8 barů), který je zapojen tlakovou hadicí na přípojku na stěně spodní skříně. Vzduch pak postupuje přes elektropneumatický ventil do tlakové nádoby. Ta je také vybavena manometrem, který je vyveden na přední část skříně a zajišťuje kontrolu tlaku. Objem tlakové nádoby je 10 litrů, ta je také vybavena drobnou netěsností, která umožňuje snížení tlaku na předepsaný rozvířovací tlak (ztráty netěsností nedovolí natlačit nádrž na více jak 3 bary). Vzduch z tlakové nádoby je veden přes rozvířovací elektr. ventil do jednotlivých rozvířovacích trysek. Ruční uzavíratelné ventily pak umožňují potřebné řízení vzduchu do zvolených trysek. [7]

Schéma pneumatického obvodu s přibližným tvarem komory je uveden na obrázku 5.2.



Obr. 5.2 Schéma pneumatického obvodu [7]

5.1.2 Rozviřovací systém



Obr. 5.3 Rozviřovací systém

Rozviřovací systém je pouze miska na prach a tryska v podobě šroubu (viz obrázek 5.3). Šroub představuje trysku v jehož podélné ose je provrtán otvor průměru 5mm až do hlavy šroubu. Kolmo na vnitřní otvor je pak hlava šroubu doplněna šesti otvory o průměru 2 mm. Tento šroub je umístěn do středu misky a přišroubován na nosné stojany zajišťující stabilizaci misky.

Prach se rovnoměrně rozsypan do všech misek. Pokud je ho více může se nasypat i na hlavu šroubu. Čas rozviřování prachu (doba rozviřování) je řízená pomocí časového relé. Časový impuls je možno nastavit od 0,1s až do jedné hodiny po časovém kroku 0,1s. [7]

5.2 První část měření

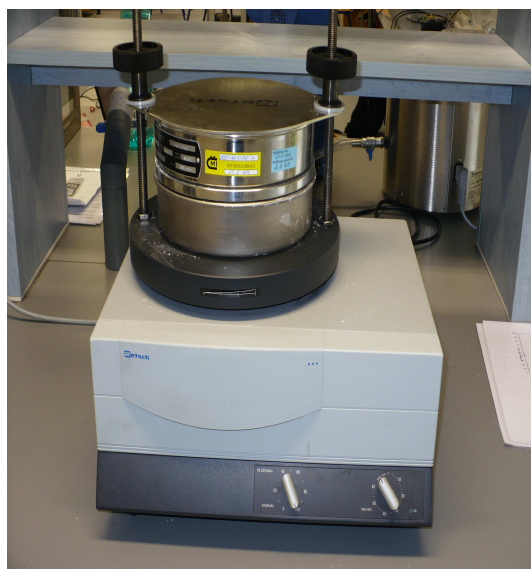
5.2.1 Postup měření

Dolní mez výbušnosti se stanovovala u pšeničné mouky hladké světlé viz obrázek 5.4. Než se začlo měřit, bylo nutné, aby byl připraven potřebný vzorek mouky. Kvůli nehomogenitosti jednotlivých moučných částic bylo nutno mouku přesít přes vibrační přístroj - prosévačku, který je na obrázku 5.5. Mouka se nasypala na síto o velikosti čtvercových ok 0,063 mm. Pod síto se dala miska se stejným průměrem a vše se položilo na vibrační přístroj.

K přístroji se miska se sítem upevnila pomocí ocelové desky na dvou tyčích a zatáhla pomocí dvou závitů. Nastavili se vibrace, přístroj se pomocí tlačítka spustil a začlo prosévání. Síto se během prosévání několikrát vysálo vysavačem, kvůli ucpávání malých ok na sítu a tudíž zmenšené rychlosti prosévání.

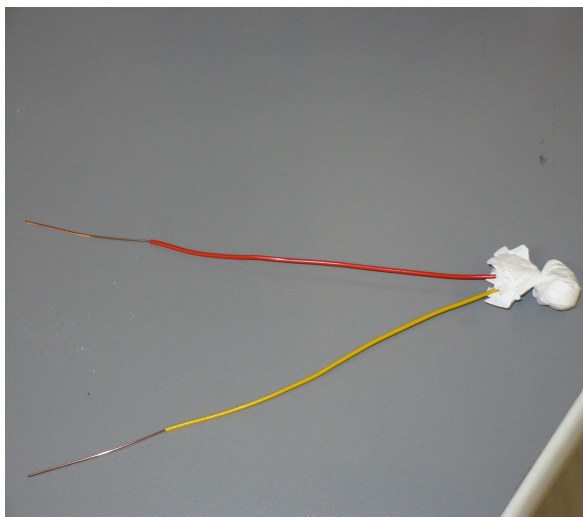


Obr. 5.4 Pšeničná mouka



Obr. 5.5 Vibrační přístroj

Po prosetí potřebného množství, se mouka vsypala do keramické misky, a kvůli možné vlhkosti, jež by mohla mít vliv na výsledek měření, se dala zahřívat asi 20 minut na elektrickém ohřívači na teplotě 82 °C. Poté se vložila do kádinky a naměřila se potřebná hmotnost vzorku na elektronických analytických vahách s přesností 0,1g. Odvážené a odvlhčené množství se ve VK 100 rovnoměrně rozsype do rozvířovacích misek. Připojí se přívod metanu a teplotní čidlo s teploměrem (GMH 3250 Greisinger) viz obrázek 5.6. Na elektrody ve výbuchové komoře se namotá palník s nitrátem celulózy zabaleném v papírovém váčku o iniciační energii 4,9 KJ, viz obrázek 5.7. Horní část komory se přikryje papírovou fólií, která zastává funkci membrány a upevní se pečlivě plastovou šňůrou. Nastaví se doba zpoždění a doba iniciace, jež jsou od 0 do 585 ms. Zapojí se vypínač od výbuchové komory a konektor na boční straně ovládacího panelu. Celá výbuchová komora, která je na kolečkách se zatlačí pod ventilační zařízení. Než se však začla měřit dolní mez výbušnosti hybridní směsi, bylo odzkoušeno, o kolik se zvýší teplota po zmáčknutí tlačítka ODPAL samotného iniciačního zdroje. Pokus byl proveden 3x a teplota na teploměru vloženého teplotního čidla byla v rozmezí 15 – 17 °C.



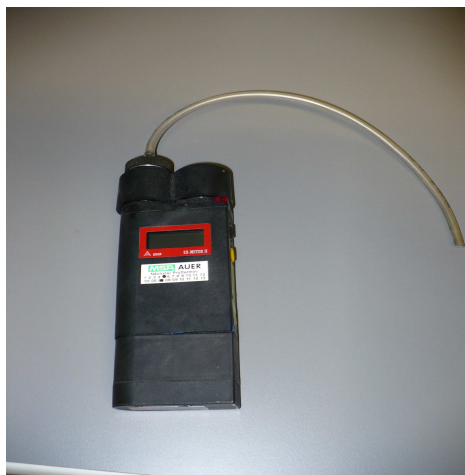
Obr. 5.7 Palník



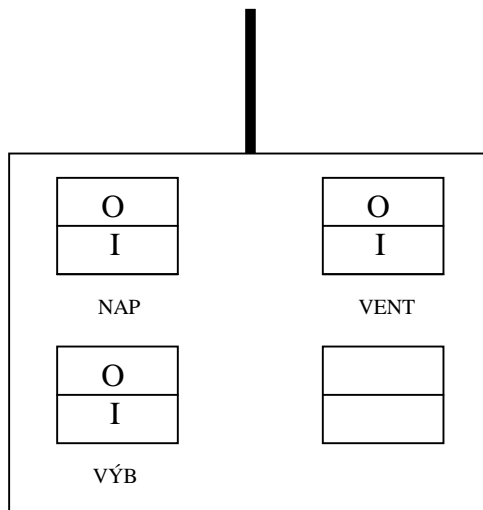
Obr. 5.6 Teplotní čidlo

Pokud bylo vše už připraveno, jak jsem to popsal výše, tak bylo začnuto po tomhle pokusu s měřením dolní meze výbušnosti hybridní směsi. Do boční strany výbuchové komory jsem ještě napojil exmeter (Msa aver exmeter II, viz obrázek 5.7) k měření koncentrace napouštěného metanu. Poslední část přípravy před pokusem byla práce s ovládacím panelem, jehož schéma je na obrázku 5.8. Prvním krokem bylo zmáčknutí tlačítka VENT. Tím se spustila ventilace, která zapříčinila rovnoměrné rozmísení mouky i metanu. Po napuštění požadované koncentrace metanu se ventilace vypnula. Začlo se s natlakováním na požadovanou hodnotu 3 barů pomocí tlačítka NAP. Jestliže byl tlak trochu přetáhnut, vypne se tlačítko NAP, počká se chvíli, než tlak klesne a zmáčkne se tlačítko VÝB. Vše bylo sledováno v plexisklovém okénku velikosti 22*10 cm. Aby byl pokus úspěšný, tedy pokud došlo k výbuchu, musely být splněny tyto body:

- 1) plamen vyplnil minimálně 2/3 celého objemu výbuchové komory
- 2) protržení, vysmeknutí nebo znatelné nafouknutí fólie
- 3) nárůst teploty aspoň o 25 °C



Obr. 5.7 Exmeter



Obr. 5.8 Schéma ovládacího panelu

Samozřejmě po skončení pokusu jsme tlačítko VÝB opět vypnuli. Po každém pokusu, v němž jsme pracovali s prachem, jsme VK 100 pečlivě vysáli vysavačem.

5.2.2 Stanovení dolních mezí výbušnosti použitých látek

Při samotném měření jsme vycházeli ze známých poznatků. Dolní mez výbušnosti mouky se pohybuje mezi 60 – 80 g/m³. U metanu je to 5 % obj. Protože objem VK 100, jak už z názvu patrně, je 100 l, což je 0,1 m³, tak navážený vzorek v gramech vynásobíme 10. Výsledky měření dolní meze výbušnosti mouka-vzduch jsou v tabulce 5.1 a výsledky měření dolní meze výbušnosti vzduch-metan jsou v tabulce 5.2.

Podmínky při měření: Teplota okolí = 20,8 °C; vlhkost = 55 %; tlak = 1010,6 hPa.

Tabulka 5.1 Výsledky hybridní směsi mouky se vzduchem

Pokus	Doba rozvíření [ms]	Doba zpoždění iniciace [ms]	Rozvířovací tlak [bar]	Koncentrace mouky [g.m ⁻³]	Výbuch
1.	200	300	3	60,0	NE
2.	200	300	3	70,0	ANO
3.	200	300	3	66,5	ANO

Tabulka 5.2 Výsledky hybridní směsi metanu se vzduchem

Pokus	Doba rozvíření [ms]	Doba zpoždění iniciace [ms]	Rozvířovací tlak [bar]	Koncentrace metanu [obj. %]	Výbuch
1.	200	300	3	4,5	ANO
2.	200	300	3	3,5	NE
3.	200	300	3	4,0	ANO

Podle tabulek 5.1 a 5.2 z měření dolní meze výbušnosti vyplývá, že dolní mez výbušnosti (LEL) mouky je $66,5 \text{ g/m}^3$ a LEL metanu 4 % obj., což je hodnota menší než je uváděna v literatuře.

5.2.3 Stanovení LEL hybridní směsi mouka-metan-vzduch

Při stanovení dolní meze výbušnosti hybridní směsi mouka-metan-vzduch se postupovalo tak, že se u mouky postupně hodnoty zmenšovaly o $0,5 \text{ g/m}^3$ a u metanu se naopak přidávalo 0,5 % obj. Sledovalo se, zda dojde k výbuchu či nikoliv. Naměřené výsledky u této hybridní směsi jsou v tabulce 5.3.

Tabulka 5.3 Výsledky měření LEL hybridní směsi

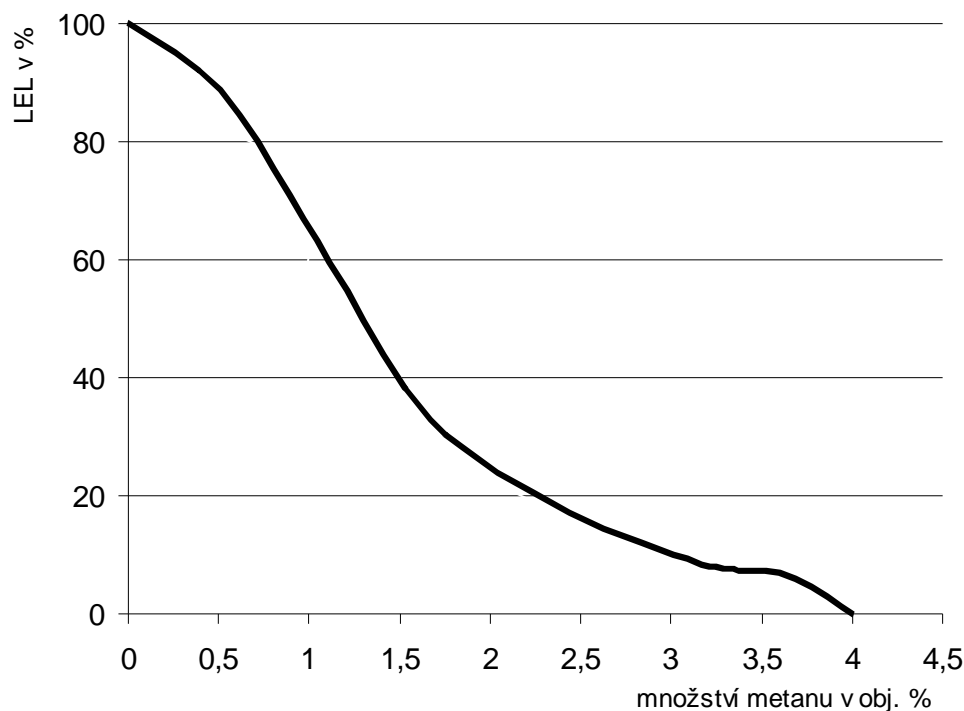
Pokus	Doba rozvíření [ms]	Doba zpoždění iniciace [ms]	Rozvířovací tlak [bar]	Koncentrace mouky [g.m ⁻³]	Koncentrace metanu [obj. %]	Výbuch
1.	200	300	3	66,5	0	ANO
2.	200	300	3	60	0	NE
3.	200	300	3	60	0,5	ANO
4.	200	300	3	55	0,5	ANO
5.	200	300	3	55	1,0	ANO
6.	200	300	3	50	1,0	ANO
7.	200	300	3	50	0,5	NE
8.	200	300	3	45	1,0	ANO

Pokus	Doba rozvíření [ms]	Doba zpoždění iniciace [ms]	Rozvířovací tlak [bar]	Koncentrace mouky [g.m ⁻³]	Koncentrace metanu [obj. %]	Výbuch
9.	200	300	3	40	1,0	ANO
10.	200	300	3	35	1,0	NE
11.	200	300	3	35	1,5	ANO
12.	200	300	3	30	1,5	ANO
13.	200	300	3	25	1,5	ANO
14.	200	300	3	20	1,5	ANO
15.	200	300	3	15	1,5	NE
16.	200	300	3	15	2,0	ANO
17.	200	300	3	10	2,0	NE
18.	200	300	3	10	2,5	ANO
19.	200	300	3	5	2,5	NE
20.	200	300	3	5	3,0	ANO
21.	200	300	3	5	3,5	ANO
22.	200	300	3	0	4,0	ANO

Toto měření se opakovalo ještě jednou a výsledky byly totožné.

5.2.4 Zhodnocení měření hybridní směsi mouka – metan - vzduch

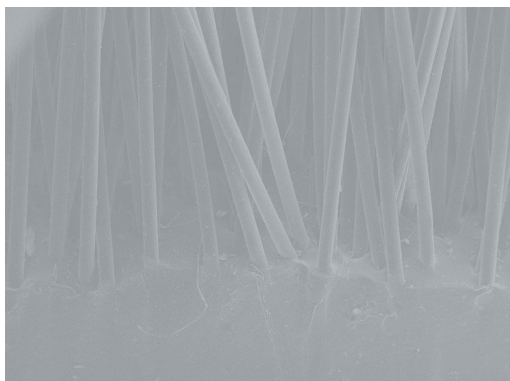
Podle tabulky 5.3 jsem vytvořil graf, který se nachází na obrázku 5.9. Z obrázku je jasné patrné, že metan v hybridní směsi vybuchuje již pod svojí dolní mezí výbušnosti. Výsledný graf se téměř shoduje s grafem 3.6 v teoretické části v kapitole 3.3.6. Tímto měřením jsme potvrdili tvrzení, které říká, že [1]: přidáním malého množství hořlavého plynu nebo páry hořlavé kapaliny (pod spodní mezí výbušnosti) významně mění výbuchové parametry. V neposlední řadě jsme tím potvrdili nebezpečnost hybridních směsí.



Obr. 5.9 Procentuální pokles dolní meze výbušnosti hybridní směsi mouka – metan - vzduch

5.3 Druhá část měření

Druhá část měření byla zveřejněna ve Sborníku požární ochrany 2007 a spolupracoval jsem s Ing. Serafínem a Ing. Šimandlem na zkoušení bezpečnosti výrobní technologie. U této výrobní technologie se dá předpokládat vznik hybridní směsi v tzv. flokovací kabině. Název flokovací kabiny je odvozen od floků, což jsou jemná textilní vlákna (textilní prach) o tloušťce několik mikrometrů a délce 2 mm. Tyto floky se nanášejí na pryžový těsnící podklad za účelem zlepšení jeho povrchových těsnících vlastností. Tvar vláken je znázorněn na obrázku 5.10.



Obr. 5.10 Snímek floků (zvětšeno elektronovým mikroskopem) nalepených v pryžovém podkladu

Flokovací kabina je součástí extruzivní linky, která vyrábí pro různé typy automobilů toto pryžové těsnění. Tato technologie pomocí tekutého lepidla s vysokým obsahem těkavého xylenu, na který se nanášejí floky v elektromagnetickém poli s vysokým napětím (50 – 80 kV), výrazně zlepšuje těsnící vlastnosti materiálu.

5.3.1 Postup měření

Toto měření se tedy týká hybridní směsi par xylenu, textilního prachu (floků) a vzduchu. První měření byla zaměřena na měření dolní meze výbušnosti jednotlivých složek směsi. Všechny experimenty probíhaly ve výbuchové komoře VK 100. Jednotlivé postupy měření jsem však už detailně nerozebíral, neboť vše je podobné jako v kapitole 5.2.1.

5.3.2 Měření dolní meze výbušnosti u xylenu

Stanovené množství xylenu bylo dáno do odpařovací nádoby a odpařeno. Aby bylo zachováno rovnoměrné rozprostření uvnitř výbuchové komory, bylo použito míchadla. Po dostatečném rozprostření došlo k iniciaci. Jako iniciační zdroj nám posloužil palník.

Plexisklovým okénkem na boční straně výbuchové komory jsme pozorovali, zda k výbuchu došlo či nikoliv. K výbuchu došlo pokud se protrhla papírová fólie, plnicí funkci odlehčovací membrány a došlo k zahoření aspoň ve dvou třetinách komory. Když byly splněny tyto podmínky, pokus se prováděl znovu, ale se sníženým množstvím látky a to tak dlouho, dokud nešlo dané množství látky iniciovat. Výsledek měření se nachází v tabulce 5.4.

Vlastnosti xylenu (dle bezpečnostního listu výrobce Eurošarm):

LEL = 44 g/m³ neboli 1 % obj., hustota = 0,86 g/cm³, bod vzplanutí = 24 °C, teplota samovznícení = 465 °C, tlak par při 20 °C = 8 hPa). R 10, R 20/21, R 38, hořlavý, páry těžší než vzduch, páry mohou se vzduchem tvořit výbušné koncentrace.

Podmínky při měření: Teplota okolí = 20,3 °C; vlhkost = 55 %; tlak = 1009,6 hPa

Tabulka 5.4 Měření LEL xylenu

Pokus	Navážka (ml)	% obj.	Výbuch
1.	10	2	Ano
2.	8	1,6	Ano
3.	6	1,2	Ano
4.	7	1,4	Ano
5.	5	1	Ne

Dolní mez výbušnosti u xylenu je tedy 1,2 % obj. Výsledek se shoduje se zahraniční literaturou. [8,9]

5.3.3 Měření dolní meze výbušnosti u floků

Určené množství jsme po navážce rovnoměrně nasypali do všech rozvířovacích trysek. Iniciace je opět prováděna chemickým iniciátorem (palníkem). Před iniciací jsme ještě nastavili dobu rozvíření (doba, kdy je dodáván vzduch do rozvířovacích nádobek) a dobu zpoždění (doba mezi rozvířením prachu ve výbuchové komoře a iniciací). Dále se postupuje stejně jako u xylenu. V případě, kdy je pokus kladný, navážka se snižuje. K výbuchu dochází také za stejných podmínek. Před každým novým pokusem bylo nutno zbytky floků odsát. Výsledky dolní meze výbušnosti floků se nachází v tabulce 5.5.

Vybrané vlastnosti floků (dle bezpečnostního listu výrobce švýcarského dodavatele floků): LEL = 100 g/m³ neboli 1 % obj., hustota = 1,3-1,4 g/cm³, bod vzplanutí - nestanoven, teplota samovznícení = 510 °C. Dle EU norem nejsou floky klasifikovány jako nebezpečná látka. Jde o hořlavou látku, z hlediska stavu jde o pevnou látku ve formě prachu => může tvořit výbušnou koncentraci.

Podmínky při měření: Teplota okolí = 21,4 °C; vlhkost = 55 %; tlak = 1010,3 hPa.

Tabulka 5.5 Měření LEL floků

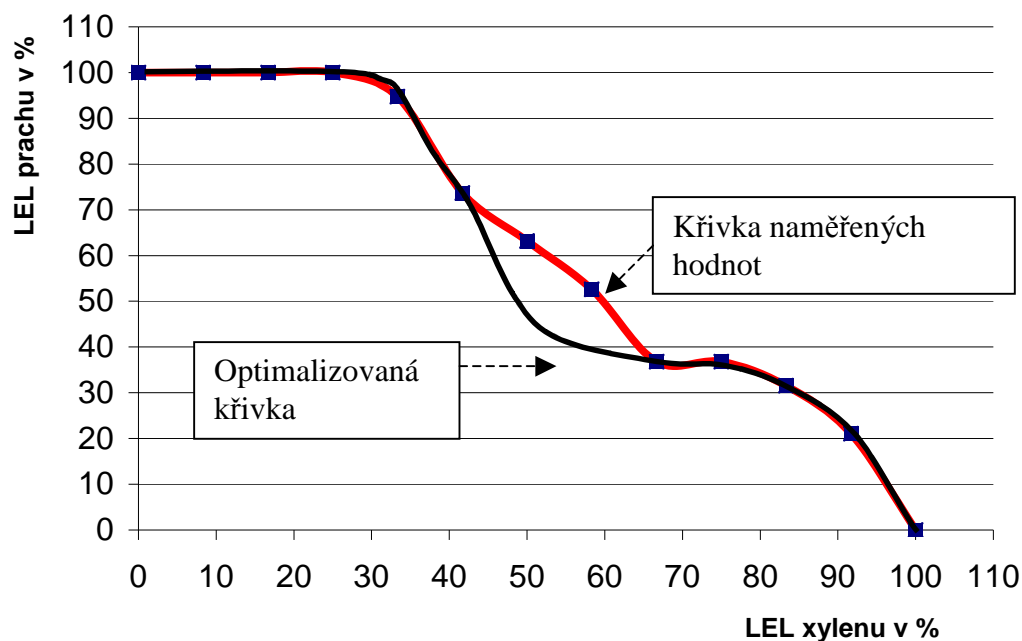
pokus	navážka (g)	doba rozvířování (ms)	doba zpoždění (ms)	tlak rozvířování (Bar)	Výbuch
1.	13	300	100	2	Ne
2.	13	300	200	2	Ano
3.	13	300	300	2	Ano
4.	10	300	200	2	Ano
5.	8	300	200	1,5	Ne
6.	9	300	200	2	Ano
7.	9,5	300	200	2	Ano

5.3.4 Měření LEL u hybridní směsi

Postup u tohoto měření probíhal, jako by byly prováděny dvě předešlá měření najednou, a to tak, že do rozvířovacích nádobek bylo vsypáno požadované množství floků, do odpařovací misky odměřené množství kapaliny. Dále bylo nutno směs promíchat míchadlem, aby došlo k rovnoměrnému rozmísení směsi ve VK 100. Pomocí palníku došlo k automatické iniciaci, po uplynutí doby zpoždění. Pokusy s různými navážkami byly provedeny v takovém počtu viz tabulka 5.6, až bylo možno vytvořit graf závislosti, ve kterém pro větší přehlednost byly hodnoty převedeny na procenta viz obrázek 5.5.

Tabulka 5.6 Naměřené hodnoty hybridní směsi

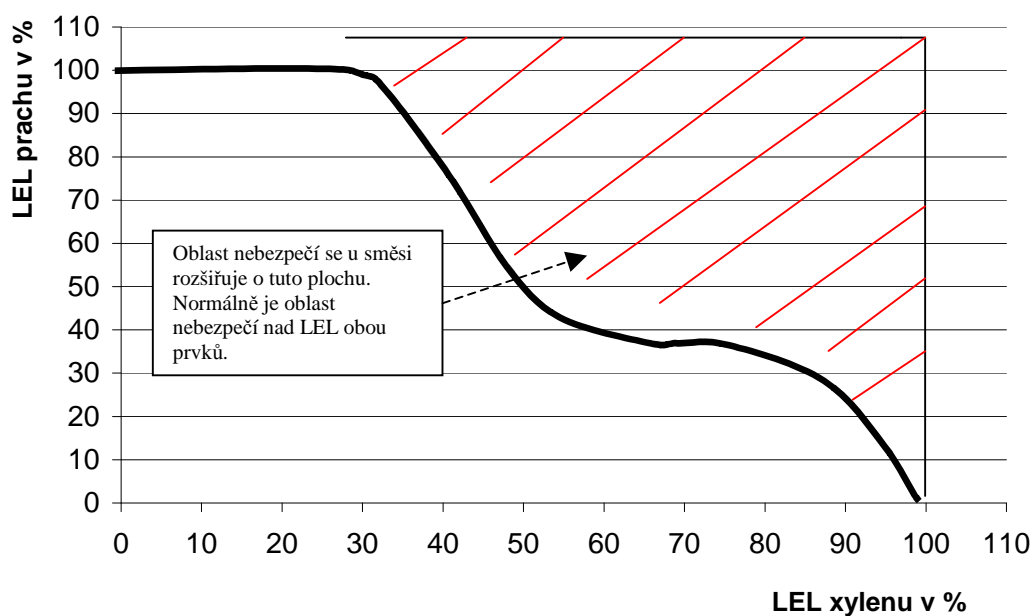
Pokus	Doba rozvíření [ms]	Doba zpoždění iniciace [ms]	Rozvířovací tlak [bar]	Koncentrace prachu [g.m ⁻³]	Koncentrace xylenu [obj. %]	Výbuch
1.	200	300	3	90	0,4	Ano
2.	200	300	3	85	0,4	Ne
3.	200	300	3	85	0,5	Ano
4.	200	300	3	80	0,5	Ano
5.	200	300	3	75	0,5	Ano
6.	200	300	3	70	0,5	Ano
7.	200	300	3	65	0,5	Ne
8.	200	300	3	65	0,6	Ano
9.	200	300	3	60	0,6	Ano
10.	200	300	3	55	0,6	Ne
11.	200	300	3	55	0,7	Ano
12.	200	300	3	50	0,7	Ano
13.	200	300	3	40	0,7	Ne
14.	200	300	3	40	0,8	Ano
15.	200	300	3	35	0,8	Ano
16.	200	300	3	30	0,8	Ne
17.	200	300	3	30	0,9	Ne
18.	200	300	3	30	1	Ano
19.	200	300	3	25	1	Ne
20.	200	300	3	25	1,1	Ano
21.	200	300	3	20	1,1	Ano
22.	200	300	3	15	1,1	Ne
23.	200	300	3	15	1,2	Ano
24.	200	300	3	10	1,2	Ano
25.	200	300	3	5	1,2	Ano



Obrázek 5.5 Vliv xyleny na hodnotu LEL prachu

5.3.5 Zhodnocení měření u hybridní směsi floky – xylen – vzduch

Výsledek měření opět potvrdil soulad s literaturou, že přidáním malého množství par xyleny dochází k poklesu dolní meze výbušnosti, jak to zobrazuje obrázek 5.6, který zobrazuje i nebezpečnou oblast.



Obrázek 5.6 Výsledek měření floky – xylen - vzduch

6. Závěr

U stanovení dolní meze výbušnosti hybridní směsi mouka - metan – vzduch byly provedeny tři měření, při kterých se měřila LEL u mouky, metanu a následně celé hybridní směsi. Dolní mez výbušnosti u mouky vyšla $66,5 \text{ g.m}^{-3}$, metanu 4 % obj. Celkový výsledek měření dolní meze výbušnosti je graf na obrázku 5.9, na kterém je procentuální znázornění poklesu LEL při zvětšujícím se množství metanu.

Druhá část měření se týkala stanovení dolní meze hybridní směsi textilní prach (floký) – xylen – vzduch. I u této hybridní směsi se jednalo o tři měření. První měření stanovilo dolní mez výbušnosti těkavé látky - xylenu. LEL xylenu vyšlo 1,2 % obj. Výsledkem druhého měření LEL textilního prachu je 90 g.m^{-3} . U třetího měření jsme výsledné hodnoty zobrazili graficky a výsledný graf se nachází na obrázku 5.6. Tento graf znázorňuje procentuální pokles dolní meze výbušnosti textilního prachu v závislosti na xylenu.

Tato práce a výsledky měření v ní uvedené dokazují, že hybridní směsi vznikající přidáním malého množství hořlavého plynu či prachu představují velké nebezpečí, jelikož k výbuchu může dojít již pod jejich dolní mezí výbušnosti. Dalšími přínosy této práce jsou seznámení se s výbuchovou komorou VK 100, výbušnými vlastnostmi hybridních směsí a s možností stanovení dolní meze výbušnosti hybridních směsí.

7. Použitá literatura

- [1] Damec, J.: Protivýbuchová prevence. SPBI, Ostrava, 2005
- [2] Bártlová I., Damec J.: Prevence technologických zařízení. SPBI, Ostrava, 2002
- [3] Kolektiv autorů: Protivýbuchová prevence v potravinářství a zemědělství. SPBI, Ostrava, 1999
- [4] Podstawka, T.: Vliv fyzikálních a chemických vlastností prachů na jejich výbuchové parametry - hybridní směsi. Disertační práce, 2006
- [5] ČSN 65 0201 Hořlavé kapaliny.
- [6] Mleziva, Zdeněk. Nebezpečí výbuchu na požářišti [online]. c2007, poslední revize 14.2. 2007 [cit. 2007-02-14]. <<http://www.hasicido.cz/modules.php?name=Content&pa=showpage&pid=205-29k>>
- [7] Lyko, J.: Návrh rozvířovací aparatury k vytváření výbušné směsi prachu se vzduchem. Diplomová práce, 2004
- [8] STEINLEITNER, H. D.: Tabellenbuch brennbarer und gefährlicher Stoffe, 1. Aufgabe, Staatsverlag DDR Berlin, Berlin, 1979
- [9] BARTKNECHT, W. Explosionen: Ablaut und Schutzmassnahmen. Berlin: Springer-Verlag, 1978. 259 s. ISBN: 0-387-08675-7

8. Seznam použitých obrázků

<i>Obrázek č.</i>	<i>Literatura</i>
2.1	[2]
2.2	[2]
3.1	[1]
3.2	[1]
3.4	[1]
3.5	[1]
3.6	[1]
3.7	[4]
3.8	[1]
3.9	[1]
3.10	[1]
3.11	[1]
5.2	[7]

9. Seznam použitých zkratk

<i>Zkratka</i>	<i>Vysvětlení</i>
LEL	dolní mez výbušnosti
UEL	horní mez výbušnosti
DHV _k	dolní koncentrační hranice výbušnosti
HHV _k	horní koncentrační hranice výbušnosti
p _{max}	maximální výbuchový tlak
dt/dp _{max}	maximální rychlost narůstání výbuchového tlaku
p _{výb}	výbuchový tlak
E _i	iniciační energie
PVC	polyvinylchlorid
PE	polyetylen
K _G	kubická konstanta pro plyny
K _{ST}	kubická konstanta pro prachy
p _{poč}	počáteční tlak
c _{opt}	optimální koncentrace
c _{skut}	skutečná koncentrace
c _{neb}	nebezpečná koncentrace
k _{b1} , k _{b2}	bezpečnostní koeficienty
t _{prac}	pracovní teplota
VK 100	výbuchová komora